

Секция 4. Экологическая безопасность
в строительстве и городском
хозяйстве

АНАЛИЗ ВОДНО-ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В БЕЗНАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

В.А. Орлов¹, О.В. Мельник¹

^{1,2}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹orlov950@yandex.ru

²lissa6868@mail.ru

Аннотация

Анализируются результаты натуральных экспериментов по исследованию водно-воздушного режима работы участка московских водоотводящих сетей. На базе использования современных сенсорных газоанализаторов и другого оборудования установлено, что в подсводном пространстве трубопроводов газовая среда в большей степени представлена сероводородом, углеводородами, водородом и, в меньшей степени, метаном. Представлены результаты анализа бактериальной обсемененности воздушной среды по санитарно-микробиологическим показателям с выявлением штаммов микроорганизмов, ответственных за появление дурнопахнущих запахов, а также по общему микробному числу (ОМЧ) коли- и термотолерантных бактерий путем посева проб на среду Эндо и на МПА (мясопептонный агар). Анализу также подвергались смывы с нижней части внутренней поверхности колодцев. Обнаруженные бактерии в большинстве представляют микрофлору кишечника человека или же являются условно патогенными. Проведена корреляция между концентрациями агрессивных газов в подсводном воздушном пространстве трубопроводов и колодцев, а также установлена связь между минимальными и максимальными концентрациями газов в различные часы суток, соответствующие реальным расходам сточной воды транспортируемой воды по водоотводящим сетям в течение суток.

ВВЕДЕНИЕ

Исследованиям гидравлического режима течения жидкости в самотечных (безнапорных) водоотводящих сетях, а также изучению качественных характеристик сточных вод, провоцирующих появление дурнопахнущих и вредных для здоровья людей запахов посвящено значительное количество публикаций [1, 2]. Неприятные запахи, проникая из систем водоотведения в атмосферу городов через люки смотровых колодцев, ухудшают качество жизни человека, поэтому проблема их фиксации, удаления или предотвращения появления имеет весомое социальное значение [3]. Обычно запах определяют при температуре 20°C и при повышенной (60°C) температуре воды [4].

Параллельно с вопросами идентификации и нейтрализации газовых компонентов актуальными аспектами на сегодняшний день остаются проблемы, связанные с предотвращением появления агрессивных газов как основной причины микробиологической коррозии стенок трубопроводов [5, 6]. Присутствие газов в подсводном пространстве трубопроводов приводит к их раннему выходу из строя [7, 8].

Система водоотведения городов является благоприятной средой из-за образования в ней таких соединений как метан, сероводород, диоксид углерода, аммиак и многих других. Их наличие влечет за собой обрушения сооружений в результате взрыва газа в коллекторах, а также вносит значительный вклад в образование парникового эффекта [9]. Сероводород присутствует как в атмосфере трубопроводов водоотводящей сети, так и непосредственно в сточных водах в растворенном виде. Сероводород обладает запахом «тухлых яиц», возникая только в анаэробных условиях вследствие биологических процессов, протекающих, как правило, в налете на стенках канализационных коллекторов [10].

Предметом настоящих исследований явился анализ степени загазованности воздуха на выборочном объекте (в канализационных колодцах) и исследование микробиологических показателей в пробах сточной воды и твердых смывов со стенок самотечного трубопровода в его подсводном пространстве и в колодце в целях выявления возможных негативных последствий на здоровье людей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведенные исследования необходимо охарактеризовать как экспериментально-аналитические, которые

проводились в течение нескольких суток в соответствии с настроенным режимом работы газоанализаторов, а разовые в дневное время при наполнении 0,3 в трубопроводе условным проходом 800 мм. При существующем уклоне 0,002 это соответствовало расходу сточной воды 108,6 л/с и скорости 0,86 м/с.

Помимо основной задачи по выявлению степени загазованности дурнопахнущими газами и бактериальными показателями в задачи исследований входили такие вопросы как проверка работоспособности газочувствительных сенсоров и аппаратуры в целом в конкретных условиях объекта, установление корреляции между показаниями газоанализаторов и органолептическими ощущениями запахов из канализационного колодца, проверка возможности фиксации аварийных выбросов и их величины.

Для измерения загазованности воздушной среды в колодцах использовали 4-х сенсорный газоанализатор.

Условия работы сенсоров при проведении экспериментов являлись следующими: температура 0 - 30°C; 100% влажность с конденсацией влаги; постоянное присутствие сероводорода в концентрации до 300 мг/м³; присутствие ароматических соединений в концентрациях до десятков мг/м³. При многосуточной стационарной установке газоанализаторов замеры проб воздуха производились в автоматическом режиме каждые 5 минут в течение 120 часов. В задачи экспериментальных исследований входило обнаружение отдельных компонентов газовой смеси и корреляции между ними.

Как известно, состояние микрофлоры окружающей человека воздушной среды городов является определяющим фактором для распространения передаваемых воздушно-капельным путем инфекций. Распространение инфекций, содержащихся в дурнопахнущих газах, наносит вред не только человеку, но и приводит к значительному экономическому ущербу.

В связи с этим возрастает значение детального микробиологического анализа дурнопахнущих газов. В отношении оценки микробиологических показателей воздуха и воды задачи экспериментов сводились к определению штаммов микроорганизмов и их возможное влияние на организм человека. Анализы проводились параллельно двумя путями: посевом проб на среду Эндо и на МПА (мясопептонный агар).

Для определения загрязнений воздуха микроорганизмами использовался указанный метод, основанный на принципе ударно-пробивного действия воздушной струи с использованием прибора Кротова, где струя воздуха приходит через узкую клиновидную щель и с большой скоростью ударяется о влажную поверхность питательной среды. В результате удара находящиеся в воздухе аэрозоли, в том числе содержащие бактерии, прибиваются к поверхности элективных сред.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За весь период проведения экспериментальных исследований по анализу проб воздуха в подсводном пространства трубопроводов прослеживалось ритмичное изменение концентрации сероводорода в пределах 5 - 25 мг/м³ (при максимально допустимой концентрации в атмосфере городов 0,008 мг/м³), связанное с суточным колебанием расхода воды и концентрации загрязнений.

Обор проб осуществлялся из верхней части колодца. Так как плотность сероводорода в 1,19 раз превышает плотность воздуха, то можно предположить, что непосредственно над поверхностью сточной воды концентрация H_2S будет выше, учитывая достаточно высокую растворимость сероводорода в воде (при $20^0 C$ - 0,379 г/100 г воды).

Также было установлено, что в течение суток наблюдалась корреляция между концентрациями сероводорода и водорода в воздушной среде (рисунок 1) при практически полном отсутствии метана.

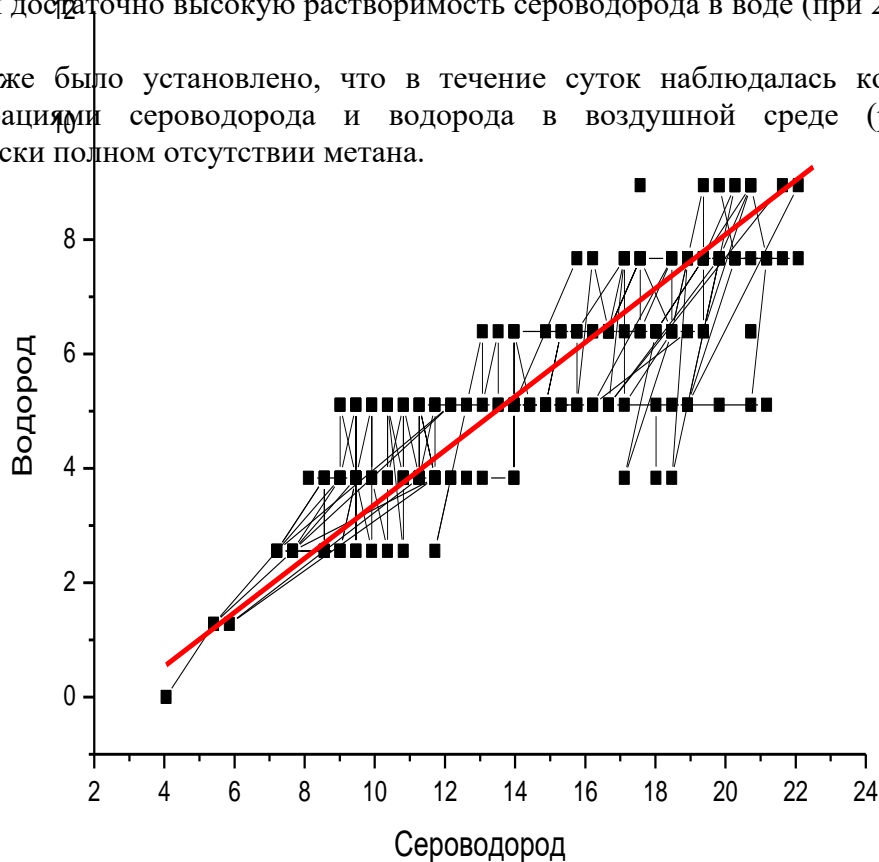


Рис. 1. Иллюстрация корреляции между сероводородом и водородом (концентрации газов по осям в mg/m^3)

Определенный интерес представляли сводные данные по эмиссии различных газов, в наибольшей степени иллюстрирующие наглядность колебаний их концентрации в пробах воздуха из колодцев в течение суток (рисунок 2). На этих графиках прослеживается изменение концентрации газов в различные часы суток (от минимальных до максимальных), соответствующие реальным расходам транспортируемой воды, например, при минимальном расходе в 4 часа утра и при максимальном расходе в 14 часов по полудни.

Для подтверждения циклического изменения концентрации газов в течение длительного периода были сопоставлены результаты замеров концентрации газов, проведенные в течение 2-х недель, с величиной суточных расходов сточных вод, поступающих на канализационные очистные сооружения в тот же период. В частности, установлено, что концентрация всех газов имеет часовую и суточную периодичность, соответствующую неравномерности поступающих на очистные сооружения сточных вод: колебания концентраций газов в течение суток изменяются в диапазоне от 2 до 3 раз, а диапазон колебаний расхода по часам суток составляет 3-4 раза при минимумах в утренние часы (8-9) и вечерние (16-18). Таким образом был сделан вывод, что циклические колебания концентрации газов увязываются с изменением расхода сточных вод, поступающих на очистные сооружения.

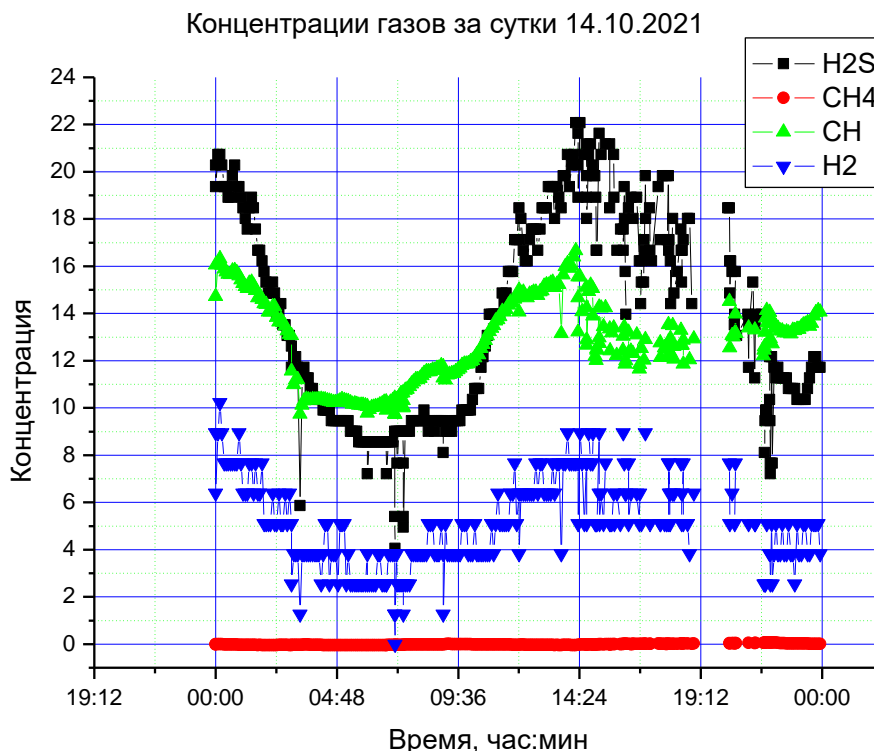


Рис. 2. Сведенные на единое поле графические зависимости, иллюстрирующие колебания концентрации различных газов (концентрации газов по осям в мг/м³)

Параллельно с измерением концентраций газов с помощью газоанализаторов осуществлялись периодические замеры концентраций измеряемых веществ лабораторными методами. Анализы проводились на хроматографе. Различие между лабораторными измерениями и натурными замерами по сероводороду можно охарактеризовать как не принципиальные: разница составляла от 15 до 20 % в течение суток.

При микробиологическом исследовании воздуха, содержащегося в подсводном пространстве трубопровода, выделены следующие бактерии: *Leclercia adecarboxylata*, *Escherichia vulneris*, *Escherichia coli*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Citrobacter gillenbergii*, *Streptococcus haemolyticus*.

В отношении качественного и количественного присутствия микроорганизмов в водной среде необходимо отметить наличие бактерий *Providencia stuartii*, *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, а на смывах со стенок трубопровода - бактерий *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Aeromonas hydrophila*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas oleovorans*, *Staphylococcus epidermidis*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus haemolyticus*.

Кроме того, в ходе микробиологических исследований сточной воды было определено, что ОКБ (общее количество бактерий) составило $4,4 \times 10^8$ КОЕ/мл, что свидетельствует о значительной загрязненности сточной воды. При этом бактерий рода *Salmonella* не выявлено, так как в противном случае они могли бы являться дополнительным источником образования сероводорода H_2S .

Обнаруженный род бактерий *Escherichia* включал типовой вид *E. coli*, что служит показателем свежего фекального загрязнения. Согласно результатам экспериментов количество бактерий на среде Эндо составило 9×10^2 КОЕ/м³ воздуха, а на среде МПА - $8,9 \times 10^2$ КОЕ/м³ воздуха, что свидетельствует о высокой степени сходимости результатов. Протеолитическая активность (способность расщепления белка до пептидов и аминокислот) у *Escherichia* выражена слабо и не способствует образованию сероводорода.

В отношении условно-патогенных бактерий *Citrobacter freundii* можно отметить, что при адекватном функционировании иммунной системы они не опасны для здоровья и жизни человека. Аналогична интерпретация в отношении бактерии *Bacillus pumilus*, присутствие которой на МПА составило $8,9 \times 10^2$ КОЕ/м³ воздуха, что негативного воздействия на организм человека не оказывает.

Обнаруженные в пробах воздуха бактерии *Citrobacter gillenii*, являясь представителями условно-патогенной микрофлоры, могут даже в минимальных их количествах привести к цитробактериозу, т.е. острому инфекционному заболеванию пищеварительной системы, что сопровождается выраженной интоксикацией и ее обезвоживанием).

По результатам опытов со смывами наиболее опасными микроорганизмами являются *Klebsiella pneumoniae*, которые могут вызывать различные инфекции, включая пневмонию, сепсис, инфекции мочевыводящих путей, бактериемию, менингит и абсцессы в печени. Что касается бактерий *Pseudomonas oleovorans*, то они, относясь к одноуглеродным или C1-соединениям, способны являться источником углерода и энергии. К одноуглеродным веществам относятся метан (CH₄), метанол (CH₃OH), формальдегид (HCOH), формиат (HCOOH), метиламин (CH₃NH₂), хлорметан (CH₃Cl), цианид калия (KCN) и др.

Enterobacter cloacae, представляя собой вид грамотрицательных условно патогенных прямых палочковидных бактерий, может вызывать у человека кишечные, респираторные, урогенитальные гнойные заболевания. В то же время обнаруженная в смывах *Bacillus subtilis* (сенная палочка) для организма человека безопасна, так как является антагонистом патогенных и условно-патогенных организмов таких, как сальмонелла, стафилококки и т.д., улучшая и регулируя здоровый метаболизм.

ВЫВОДЫ

1. По результатам экспериментов установлено, что циклическое изменение концентрации газов в течение суток может свидетельствовать о зависимости эмиссии газов из сточной воды в воздух в разные часы суток, скорости течения сточной воды в трубопроводе и попутном движении воды и газов.
2. Констатировано, что выявленные в результате проведения экспериментов видовые составы микроорганизмов в пробах сточной воды и воздуха замкнутых пространств канализационных колодцев и подводящих пространств безнапорных трубопроводов не могут оказывать влияния на здоровье людей при наличии герметичной системы транспортирования сточной воды по водоотводящим сетям.
3. 3. Результатами исследований доказано, что некоторые виды микроорганизмов, присутствующие в замкнутом пространстве колодцев (например, *Bacillus cereus*, *Citrobacter freundii*, *Citrobacter gillenii* и другие), способны оказывать негативные последствия на человеческий организм) и могут представлять угрозу здоровью обслуживающего персонала водоотводящих сетей при проведении им работы в колодцах без средств индивидуальной защиты дыхательных путей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рублевская О.Н. Мероприятия по предотвращению распространения неприятных запахов на объектах ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. №10. с. 46 – 55
2. Примин О.Г., Пупырев Е.И. Методы повышения экологической безопасности трубопроводов канализационных сетей // Экология и промышленность в России. 2013. №3. с. 13-17
3. Храменков С.В., Пахомов А.Н., Данилович Д.А. и др. Методы предотвращения распространения неприятных запахов от сооружений канализации // Водоснабжение и санитарная техника, 2011. № 11. с. 25-30
4. Майоров В.А. Запахи: их восприятие, воздействие, устранение.-М.: Мир. 2006. 366 с.
5. Michael D. Municipal gravity sewers: An unrecognised source of nitrous oxide // Science of the Total Environment. 2014. № 468-469. pp. 211–218

6. Кофман В.Я. Сероводород и метан в канализационных сетях // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 11. с. 72–78.
7. Васильев В.М., Малков А.В. Места образования агрессивных газов в канализационной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. №1. с. 66-74
8. Васильев В.М., Панкова Г.А., Столбихин Ю.В. Разрушение канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие микробиологической коррозии // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. №9. с. 55 – 61
9. Чутин Р.В. Нгуен Туан Ань Оптимальная реконструкция канализационных сетей // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 2. С 16-19
10. Kyoo hong P. Mitigation strategies of hydrogen sulphide emission in sewer networks: a review // International Biodeterioration & Biodegradation. 2014. Vol. 95. pp. 251-261

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ ЗАЩИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ SCOTCHKOTE® 2400

О.Г. Примин¹, И.А. Аверкеев²

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

²ООО «Группа «Полипластик»

¹tepper2007@yandex.ru

²ilya.averkeyev@polyplastic.ru

Аннотация

Надежность и безопасность централизованного водоснабжения являются одними из основных требований, предъявляемых к этим системам – важнейшая составляющая здоровья населения и один из главных приоритетов социальной политики государства. Предмет исследований - трубопроводы водопроводной сети - которые являются одним из наиболее дорогостоящим, и в то же время уязвимым элементом системы водоснабжения города.

По протяженности подземных трубопроводов Россия занимает второе место в мире, а по изношенности труб – одно из первых. Сложившееся в настоящее время неудовлетворительное состояние, водонесущих коммуникаций городов РФ приводит к многочисленным авариям на трубопроводах и становится причиной серьезных нарушений экологического равновесия, отрицательно сказывается на здоровье людей и окружающей среды. Статья посвящена проблеме повышения надежности и экологической безопасности водопроводных трубопроводов с использованием инновационного защитного покрытия Scotchkote® 2400.

Анализируются результаты экспериментов по определению прочностных характеристик покрытия труб Scotchkote® 2400, которые проводились в лаборатории кафедры Водоснабжения и водоотведения Московского государственного строительного университета. Показано, что защитное покрытие Scotchkote® 2400 является весомой альтернативой цементно-песчаным и другим внутренним покрытиям, так как во многих отношениях превосходит их благодаря возможности кольматации свищей большого диаметра, высокой износостойкости, гладкой поверхности, способностью выдерживать повышенные гидравлические давления, не перекрывать сервисные отводы и незначительно уменьшать диаметр восстанавливаемых трубопроводов.

В результате исследований получены и рекомендованы расчётные значения толщин защитного покрытия Scotchkote® 2400 для случаев частично изношенного и полностью изношенного трубопровода

Ключевые слова. Защитное покрытие, трубопровод, коррозия, технология, прочность, расчет.

ВВЕДЕНИЕ

Тенденции последних лет указывают на то, что коммунальными службами городов России и за рубежом всё большее внимание уделяется вопросам использования перспективных бестраншейных технологий капитального ремонта и реконструкции водопроводных, водоотводящих и других сетей. [1,2].

Это направление является весомой альтернативой открытому способу строительства, ремонта и реконструкции подземных трубопроводов любого назначения, так как почти по всем параметрам (экономичности, оперативности, экологичности и другим) превосходит его [3,4].

К новым эффективным внутренним защитным покрытиям для реконструкции трубопроводов относится покрытие Scotchkote® 2400. Покрытие представляет собой быстротверждаемый двухкомпонентный полимерный материал на основе

поли мочевины, наносимый на внутреннюю поверхность трубопровода с помощью специализированного оборудования методом центробежного напыления. Покрытие может наноситься на водопроводные трубы, транспортирующие питьевую или техническую воду. Материал труб - сталь, серый чугун, высокопрочный чугун с шаровидным графитом, (ВЧШГ), трубы из ПВХ и асбестоцементные трубы.

Покрытие Scotchkote® 2400 позволяет обеспечить восстановление и улучшение прочностных и гидравлических характеристик изношенных трубопроводов, сохранить свойства транспортируемой воды, обеспечить требуемый уровень надежности трубопроводов и способствовать снижению их аварийности, уменьшить негативные последствия ремонтных работ на окружающую природную среду [5].

Ниже представлены основные физические характеристики материала покрытия Scotchkote® 2400 в отвержденном состоянии, (таблица 1).

Таблица 1. Основные физические характеристики материала покрытия Scotchkote® 2400 в отвержденном состоянии.

Физические характеристики	Значение/Value
Летучие органические соединения (в смешанном состоянии)	0 г/л
Наличие Бисфенола А	Нет
Предел прочности при растяжении	39 МПа
Удлинение при растяжении	5%
Прочность на изгиб	58 МПа
Модуль изгиба	3620 МПа
Кратковременное гидравлическое давление разрыва	1,41 МПа
Твердость	87 по шкале Шора
Прочность на удар, при толщине покрытия 1,7 мм	17 Джоулей
Прочность на удар, при толщине покрытия 6 мм	33 Джоулей
Сопротивление истиранию	Потеря массы 193 мг за 1000 циклов
Температура стеклования	96°С
Влагопоглощение	1,31 % (21 день)

Защитное покрытие наносится на внутреннюю поверхность трубопровода специальными распылительными головками (**рисунок 1**)

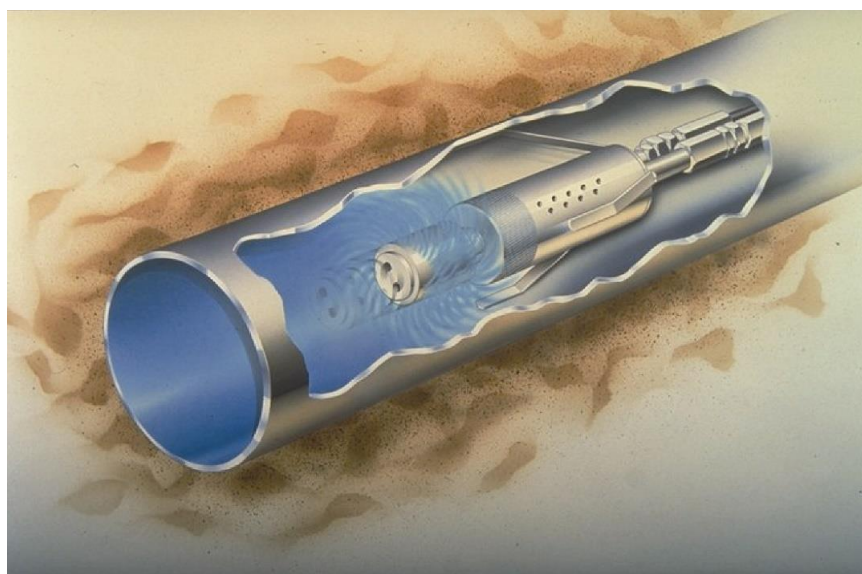


Рис. 1. Схематическое изображение разбрызгивающей головки для нанесения покрытия Scotchkote Liner 2400

При соблюдении требуемых расчетных значений толщины покрытия и заглубления трубопровода, защитное покрытие Scotchkote® 2400 удовлетворяет требованиям стандарта ASTM F 1216-09 к свойствам материала по истечении 50 лет эксплуатации [6].

Технология Scotchkote® 2400 применяется либо для создания антикоррозионного барьера, либо толстослойной коррозионностойкой системы, которая восстановила внутреннюю поверхность трубопровода водопроводной сети и его прочностные характеристики (конструкционную целостность) и обеспечивает [6,7]:

- сохранение качества транспортируемой воды путем нанесения защитного слоя покрытия, соответствующего установленным санитарно-эпидемиологическим требованиям Роспотребнадзора РФ, на внутреннюю поверхность старого трубопровода.
- сохранение (улучшение) гидравлических характеристик трубопроводной сети путем уменьшения удельного сопротивления и коэффициента шероховатости внутренней поверхности восстанавливаемых трубопроводов при нанесении покрытия.

Типы применения покрытия Scotchkote® 2400:

- конструкционное;
- барьерное антикоррозионное.

В случаи применения покрытия в качестве конструкционного, покрытие обладает следующими характеристиками:

- длительная до 50 лет прочность на внутренний разрыв, при максимально допустимом рабочем давлении ремонтируемой трубы,
- способность выдерживать динамические нагрузки и другие кратковременные воздействия, связанные с нагрузками внутреннего рабочего давления, нагрузками грунта, грунтовых вод, а также частичный вакуум, вызванный внезапным опорожнением трубопровода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На кафедре Водоснабжения и водоотведения НИУ МГСУ под руководством профессора Орлова В.А. были проведены экспериментальные исследования гидравлических и прочностных характеристик защитного покрытия Scotchkote Liner 2400. Экспериментальные исследования физико-механических свойств материала покрытия Scotchkote® 2400 проводились согласно актуальной методике, изложенной в ГОСТ 25.601-80, [8] на испытательной электромеханической разрывной машине Instron 3345, (рисунок 2),



Рис. 2. Разрывная машина Instron 3345

Экспериментальным путём были определены: максимальная приложенная на образец покрытия нагрузка (F , H), максимальное возникающее в образце покрытия напряжение (σ , МПа), максимальное удлинение образца покрытия (x , мм), максимальная продольная деформация образца покрытия (ε , мм/мм), а также диаграмма деформирования (графическая зависимость σ от ε).

Расчётными и аналитическими путями были получены физико-механические характеристики материала покрытия Scotchkote® 2400 с учётом его 50-тилетней эксплуатации. В их числе: Максимальная разрывная прочность (σ_{50} , МПа); Модуль Юнга (модуль упругости E_{50} , МПа); Плотность (ρ , кг/м³); Коэффициент Пуассона (ν); Модуль сдвига (G_{50} , МПа); Модуль объемной упругости (K_{50} , МПа).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обоснование выбора толщины слоя защитного покрытия для участка напорного водопроводного трубопровода основано на прочностном расчете конструкции «трубопровод + покрытие» с учетом степени его изношенности, под которой условно принимается состояние «полностью» и «частично» изношенный участок трубопровода. Частично изношенная труба - труба, способная самостоятельно выдерживать все нагрузки (внутренние или внешние) в течение всего срока службы нанесённого покрытия. В данном случае труба может иметь смещенные соединения, трещины и следы коррозии. Более того, ремонтируемая труба должна выдерживать все нагрузки от грунта и временные нагрузки в течение предположительного остаточного срока службы трубопровода. Покрытие в этом случае должно выдерживать гидростатическое давление, вызванное утечками, а также внутреннее давление в местах заполнения пор.

Полностью изношенная труба - труба, не способная самостоятельно выдерживать все нагрузки (внутренние или внешние) в течение всего срока службы нанесённого покрытия. Определяющим параметром для оценки расчетной толщины покрытия является напряжение изгиба вокруг свищевого отверстия, которое создается внутренним давлением, действующим на поверхность трубы.

В случае частично изношенного трубопровода для определения толщины слоя защитного покрытия может использоваться формула 1:

$$t = \frac{D_o}{\left(\frac{5,33}{P_i} \left(\frac{D_o}{D_h} \right)^2 \frac{S_L}{N} \right)^{\frac{1}{2}} + 1} \quad (1)$$

где t - толщина слоя защитного покрытия с учётом прочности на изгиб при прогнозируемом сроке эксплуатации трубопровода в диапазоне от 20 до 50 лет, мм;

S_L - длительная прочность на изгиб, МПа;

D_o - диаметр трубы (в диапазоне от 100 до 610), мм;

D_h - диаметр сквозного свищевого отверстия в трубе, мм;

P_i - давление в трубе (в диапазоне от 0,4 до 1,2), МПа;

N - расчетный коэффициент запаса прочности (для значений $N=1-2$).

Результаты расчета сравниваются с толщиной покрытия для частично изношенных самотечных трубопроводов и выбирается вариант с большей толщиной покрытия.

В случае полностью изношенного трубопровода для определения толщины слоя защитного покрытия используется формула 2:

$$t = \frac{D}{\left(\frac{2S_{tL}}{P_i N} \right) + 1} \quad (2)$$

где t - толщина слоя защитного покрытия с учётом прочности на растяжение при прогнозируемом сроке эксплуатации трубопровода в диапазоне от 20 до 50 лет, мм;

S_{IL} - длительная прочность на растяжение, МПа;

D - диаметр трубы (в диапазоне от 100 до 610), мм;

P_i - давление в трубе (в диапазоне от 0,4 до 1,2), МПа;

N - расчетный коэффициент запаса прочности (для значений $N=1-2$).

В таблице 2 приведены расчётные значения толщин покрытия Scotchkote Liner 2400 при частично изношенном трубопроводе, в таблице 3 при полностью изношенном трубопроводе.

Таблица 2 Расчётные значения толщин покрытия Scotchkote Liner 2400 при частично изношенном трубопроводе

Срок эксплуатации – 50 лет						
Коэффициент запаса: $K_{зап.}=2,0$						
Высота слоя грунта над трубопроводом: 1 - 3,4* м						
Диаметр сквозного отверстия в трубе (свища): 80 мм						
Давление в трубопроводе, МПа	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	-0,1 (вакуум)
Диаметр, мм	Минимальная требуемая толщина покрытия, мм					
100	2,0	2,9	4,1	5,0	5,9	1,2
150	3,0	4,5	5,4	6,6	7,7	1,8
200	3,8	5,5	6,7	8,1	8,25**(1,8)	2,5
250	4,4	6,0	7,5	8,25**(1,8)	8,25**(1,5)	2,9
300	4,8	6,5	8,1	8,25**(1,6)	8,25**(1,3)	3,4
360	5,0	6,8	8,25**(1,9)	8,25**(1,5)	8,25**(1,2)	3,7
410	5,1	7,0	8,25**(1,8)	8,25**(1,4)	8,25**(1,1)	3,9
460	5,2	7,2	8,25**(1,8)	8,25**(1,4)	8,25**(1,1)	4,1
510	5,3	7,4	8,25**(1,8)	8,25**(1,4)	8,25**(1,1)	4,2
560	5,4	7,5	8,25**(1,8)	8,25**(1,4)	8,25**(1,0)	4,3

Таблица 3 Расчётные значения толщин покрытия Scotchkote Liner 2400 при полностью изношенном трубопроводе

Срок эксплуатации – 50 лет						
Коэффициент запаса: $K_{зап.}=2,0$						
Высота слоя грунта над трубопроводом 1 - 3,4* м						
Давление в трубопроводе, МПа	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	-0,1 (вакуум)
Диаметр, мм	Минимальная требуемая толщина покрытия, мм					
100	3,6	3,9	4,4	5,1	5,9	2,7
150	4,1	4,8	5,6	6,6	7,7	2,9
200	4,5	5,6	6,7	8,1	8,25**(1,8)	3,1
250	4,9	7,0	7,7	8,25**(1,8)	8,25**(1,5)	3,2
300	5,5	7,8	8,25**(1,7)	8,25**(1,4)	8,25**(1,2)	3,4
360	6,3	8,25**(1,9)	8,25**(1,4)	8,25**(1,1)	-	3,9
410	7,2	8,25**(1,6)	8,25**(1,2)	-	-	4,1
460	8,1	8,25**(1,5)	8,25**(1,0)	-	-	4,8
510	8,25**(1,8)	8,25**(1,4)	-	-	-	5,5
560	8,25**(1,6)	8,25**(1,3)	-	-	-	6,0

Имеющие результаты по оценке эффективности различных защитных покрытий позволили привести сравнительные характеристики технологии напыления покрытия Scotchkote Liner 2400 (таблица 4), [9].

Таблица 4 Сравнительные характеристики технологии напыления покрытия Scotchkote Liner 2400

Сравнительные показатели покрытия	Применение защитного полимерного рукава	Нанесение цементно-песчаного покрытия (ЦПП)	Протаскивание гибкой сложенной (U-образной) трубы	Нанесение покрытия Scotchkote® 2400
Время ввода трубопровода в эксплуатацию	3-5 часов	3-5 суток	5-11 часов	1,5 час
Необходимость дополнительных материалов (вода, пар) и энергии для отверждения покрытия	Да	Нет	Да	Нет
Необходимость переустановки боковых подключений	Да	Нет	Да	Нет
Способность перекрывать сквозные дефекты (свищи, трещины)	Да	Нет	Да	Да, до 5 мм, при большем размере применяется цементация и/или установка механических муфт, бандажей, пакеров
Способность обеспечивать конструкционную целостность трубопровода	Да	Нет	Да	Да
Универсальность применения исходного продукта для трубопроводов различных диаметров	Нет	Да	Нет	Да

ВЫВОДЫ

1. Защитное покрытие Scotchkote® 2400 является альтернативой цементно-песчаным и другим внутренним покрытиям, так как во многих отношениях превосходит их благодаря возможности кольматации свищей большого диаметра, высокой износостойкости, гладкой поверхности, способностью выдерживать повышенные гидравлические давления, не перекрывать сервисные отводы и незначительно уменьшать диаметр восстанавливаемых трубопроводов.

2. Технология Scotchkote® 2400 применяется либо для создания антикоррозионного барьера, либо толстослойной коррозионностойкой системы, которая восстановила внутреннюю поверхность трубопровода водопроводной сети и его прочностные характеристики (конструкционную целостность) и обеспечивает:

- сохранение качества транспортируемой воды путем нанесения защитного слоя покрытия, соответствующего установленным санитарно-эпидемиологическим требованиям Роспотребнадзора РФ, на внутреннюю поверхность старого трубопровода.
- сохранение (улучшение) гидравлических характеристик трубопроводной сети путем уменьшения удельного сопротивления и коэффициента шероховатости внутренней поверхности восстанавливаемых трубопроводов при нанесении покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Храменков С.В., Примин О.Г. Орлов В.А. // Реконструкция трубопроводных систем, Ассоциация строительных вузов. - М., 2008 125 С.
2. Орлов В. А., Михайлин А. В., Орлов Е. В. // Технологии бестраншейной реновации трубопроводов. – М.: АСВ, 2011, 213 С.
3. Mayr H. // Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen. DVWG Hinweis W 401 Bonn Майр Н. et al. Bonn 2015 P 232015 p 23
4. Burgard M. // Rehabilitation de conduites par gainage interne // Eau. Ind. Nuis. - 1989. - 126. -p. 39-4183. «EN -401(DVGW, 1997 г. Германия) p 67
5. Аверкеев И.А. // Защитные покрытия как фактор обеспечения гидравлических и прочностных показателей водопроводных и водоотводящих трубопроводов: диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.04 / Москва, 2013. - 190 С.
6. ASTM F1216-16, // Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, 8 p
7. Орлов В. А., Зоткин С. П., Хренов К. Е. // Защитные покрытия как фактор обеспечения прочностных и гидравлических показателей восстанавливаемых трубопроводов // Вестник МГСУ. № 1, 2015. С. 74–82
8. ГОСТ 601-80. 25. // Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов).
9. Орлов В.А., Орлов Е.В. // Строительство, реконструкция и ремонт водопроводных и водоотводящих сетей бестраншейными методами. Инфра –М, 2007, 221 с.

АНТРОПОГЕННЫЙ ПОТОК ТЕПЛА, ВЫЧИСЛЕННЫЙ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

И.А. Евсиков¹, В.А. Фролькис²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4,

²Санкт-Петербургский государственный экономический университет,

²Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова,

¹ievnikov@lan.spbgasu.ru

²vfrolkis@gmail.com

Аннотация

Предметом исследования является влияние антропогенного потока тепла (АПТ), связанного с расходом энергии на отопление и вентиляцию зданий, на тепловой баланс урбанизированной территории и интенсивность городского острова тепла. Цель работы получить точное распределение АПТ по территории города Санкт-Петербург. В исследовании используются данные из открытых ГИС, учитываются строительные нормы и правила, а также влияние различных температур наружного воздуха. Рассматриваются два алгоритма расчета АПТ и приводятся соответствующие результаты. Полученные значения по каждому району города хранятся в отдельных файлах в формате CSV и могут использоваться в качестве входных данных в расчетах по климатическим моделям. Так же для наглядности сделаны графические тепловые карты города и его отдельных районов.

ВВЕДЕНИЕ

Антропогенный поток тепла, вызванный теплопотерями зданий в период отопления, приводит к появлению городского острова тепла, который определяется разностью температур между городскими и прилегающими сельскими территориями. Из-за влияния температуры атмосферного воздуха на энергопотребление и обратного влияния АПТ на температуру приземного воздуха в режиме отопления возникает отрицательная обратная связь между температурой воздуха и антропогенным потоком тепла.

Для оценки антропогенного потока тепла, как правило, используются три основных подхода: а) прямые измерения тепловых потоков; б) инвентаризация, которая заключается в оценке потребленной регионом энергии; в) дистанционные спутниковые измерения потоков теплового излучения с выделением антропогенных потоков по локальным метеорологическим данным.

В данной работе используется альтернативный подход, основанный на инвентаризации потребленной энергии зданием на отопление и вентиляцию. Допускается, что все здания города соответствуют действующим сводам правил (СП) и ГОСТ [1, 2, 3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На первом этапе исследования создается трехмерная модель городской застройки Санкт-Петербурга с использованием открытого веб-картографического ресурса “OpenStreetMap” (OSM) [4]. Платформа OSM позволяет описать точные контуры зданий и в некоторых случаях содержит информацию о высоте и типе здания. Восполнить недостающую информацию можно при помощи данных с сайта “Система классификаторов Санкт-Петербурга” [5] и с сайта Яндекс.Карты [6]. Информацию с OSM платформы можно экспортировать в формате файлов, имеющих *xml*-структуру. Ресурс “Система классификаторов Санкт-Петербурга” позволяет скачивать информацию о жилых зданиях в формате «csv». Информация с сайта Яндекс.Карты доступна только визуально.

Для преобразования геоинформационных данных из разных форматов в трехмерную модель городской застройки был создан специальный скрипт в визуальной среде программирования Grasshopper. Grasshopper является неотъемлемой частью программного

обеспечения Rhinoceros, и позволяет создавать сложные алгоритмы моделирования на базе неоднородных рациональных B-сплайнов (NURBS). В отличие от MESH представления трехмерной модели, NURBS имеет ряд преимуществ, в частности: отсутствие потери качества при масштабировании, меньший объем памяти для хранения. Стандартные инструменты Rhinoceros позволяют сохранять дополнительные пользовательские атрибуты (свойства) для каждого элемента модели. С помощью таких свойств каждой модели здания присваивается и сохраняется следующий набор данных: Тип, Высота, Объем.

Процесс преобразования данных из *xml*-разметки файла OSM в трехмерную модель реализован с помощью дополнительного плагина Gismo. Данное решение позволяет обращаться напрямую к серверу OSM из среды Grasshopper. При использовании плагина Gismo достаточно указать координаты центра моделируемой области и ее радиус. Все элементы плагина являются открытыми, написаны на языке python и могут быть модифицированы при желании пользователя. Так же стоит отметить, что Gismo в отличие от аналогов, производит «парсинг» не только по тегам «building», но и проверяет «building:part», что позволяет в некоторых случаях получить более точную геометрию зданий.

К сожалению, база данных OSM не обладает полной информацией о высотах зданий городов России. В Санкт-Петербурге, к примеру, только около 60% зданий имеют тег «building:levels» или «height». В случае отсутствия информации о высоте здания в OSM наш скрипт обращается к локальному файлу Технико-экономических паспортов многоквартирных домов, скачанного с портала «Система классификаторов Санкт-Петербурга». На данный момент этот ресурс располагает информацией о более 23 тысячах жилых зданий. Информация из такого файла легко обрабатывается стандартными функциями и методами на языке python. Оставшуюся недостающую информацию об административных и промышленных зданиях можно восполнить с ресурса Яндекс.Карты.

Таким образом, получается максимально точная геометрическая модель города.

На базе полученной модели застройки Санкт-Петербурга производится расчет АПТ с учетом различной наружной температуры воздуха и фиксированной внутренней температурой воздуха здания. Расчеты АПТ производятся по сетке, покрывающей территорию города с плотной застройкой. Размер каждой ячейки сетки 30x30 метров.

В соответствии с ГОСТ [3], для жилых зданий, общежитий и гостиниц внутренняя температура воздуха должна быть в интервале 20–22 °С, для лечебно-профилактических, дошкольных образовательных и общеобразовательных организаций, интернатов в интервале 16–21 °С. В качестве расчетного значения принимается 20 °С.

Рассматриваются два алгоритма расчета АПТ. Первый алгоритм [6] строится на понятии «градусо-сутки отопительного периода (ГСОП)» и «нормативном сопротивлении теплопередаче ограждающих конструкций», R_i^{TP} .

$$\text{ГСОП}=(t_{\text{вн}}-t_{\text{от}})d_{\text{от}} \quad (1)$$

где $t_{\text{вн}}$ – температура внутреннего воздуха здания, °С, $t_{\text{от}}$ – средняя температура атмосферного воздуха за время отопительного периода, °С, и $d_{\text{от}}$ – его продолжительность, сут.

В Санкт-Петербурге для периода со средней суточной температурой воздуха, не превышающей 8 °С, имеем $t_{\text{от}}=-1.3$ °С, $d_{\text{от}}=213$ сут, а с не превышающей 10°С: $t_{\text{от}}=-0.4$ °С, $d_{\text{от}}=232$ сут [1]. Для этих параметров величина ГСОП, согласно (1), будет равна 4537 и 4733 (°С·сут) соответственно.

Для определения R_i^{TP} используется таблица 3 СП [2], где приводятся значения ГСОП с шагом 2000 °С·сут, и соответствующие им нормативные сопротивления теплопередаче. В расчетах используются значения соответствующие ГСОП = 4000 °С·сут, а именно: 2.8 м²·°С/Вт для стен; 3.7 м²·°С/Вт для чердачных покрытий и перекрытий над

неотапливаемыми подпольями; $0.63 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ для светопрозрачных ограждающих конструкций.

АПТ от разных частей элементов ограждающих конструкций в j -й ячейке,

$$Q_F^i(j) = K_i(t_{\text{ВН}} - t_{\text{НАР}})S_i(j) \quad (2)$$

где $K_i = 1/R_i^{\text{TP}}$ – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции i -й категории, $t_{\text{НАР}}$ – температура наружного воздуха, °C, $S_i(j)$ – суммарная площадь элементов ограждающей конструкции i -й категории в j -й ячейке, м^2 .

Суммарный АПТ от частей ограждающих конструкций, удовлетворяющих нормативным значениям требуемого сопротивления теплопередаче R_i^{TP} и попадающих в j -ю расчетную ячейку:

$$Q'_F(j) = \sum_i Q_F^i(j)$$

Среднее значение АПТ для территории:

$$Q'_F = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Q'_F(j)$$

где N – число ячеек расчетной сетки, покрывающей изучаемый регион.

Полученное значение Q'_F , дает теплопотери через ограждающие конструкции, это около 80% всех теплопотерь (20% приходится на вентиляцию [7]). Таким образом итоговое значение Q'_F определяется по формуле, $Q'_F = \frac{Q'_F}{80\%} 100\%$.

Второй алгоритм [8] основан на понятии «Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания» $q_{\text{ОТ}}^{\text{TP}}$, описанном в пункте 10 СП [2].

В соответствии со строительными нормами и правилами расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания не должно превышать **нормируемого значения** $q_{\text{ОТ}}^{\text{TP}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$ [2]. Таким образом, используя в расчетах величину $q_{\text{ОТ}}^{\text{TP}}$, можно получить верхнюю границу теплопотерь здания.

Расчет величины АПТ от разных частей элементов ограждающих конструкций, попадающих в рассматриваемую j -ю ячейку, осуществляется по формуле:

$$Q_F^i(j) = q_{\text{ОТ},i}^{\text{TP}}(t_{\text{ВН}} - t_{\text{НАР}})V_i(j) \quad (3)$$

где $q_{\text{ОТ},i}^{\text{TP}}$ – нормируемое значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания i -го типа (таблица 14 СП [2]), $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$, $V_i(j)$ – объем части здания i -го типа в j -й ячейке, м^3 .

АПТ от разных частей зданий, попадающих в j -ю расчетную ячейку:

$$Q'_F(j) = \sum_i Q_F^i(j)$$

В итоге получаем среднее значение АПТ для рассматриваемой территории:

$$Q'_F = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Q'_F(j)$$

Так как при транспортировке тепла к зданиям по магистралям, расположенным под землей, теряется порядка 10% в виде тепловых стоков $\Delta Q_{F,g}$, то средний АПТ должен быть увеличен на величину теплового стока в обоих алгоритмах

$$Q_F = Q'_F + \Delta Q_{F,g} = (1 + 0.1)Q'_F$$

Основные результаты АПТ приводятся из расчета на 1 м², для этого значение Q_F следует разделить на площадь ячейки:

$$\bar{Q}_F = Q_F / 900\text{м}^2$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обобщенные результаты расчетов АПТ, \bar{Q}_F , по районам города приведены в таблице 1.

Таблица 1. Средние, медианные и максимальные значения АПТ (Вт/м²) для различных районов Санкт-Петербурга при $t_{\text{ВН}} - t_{\text{НАР}} = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$

Район	1-й алгоритм			2-й алгоритм		
	Среднее	Медиана	Макс.	Среднее	Медиана	Макс.
Адмиралтейский	0.54	0.48	10.20	1.22	0.75	23.72
Василеостровский	0.54	0.28	32.26	1.07	0.29	20.33
Выборгский	0.39	0.00	16.09	0.82	0.00	23.58
Калининский	0.35	0.00	22.93	0.71	0.00	22.62
Кировский	0.36	0.09	7.890	0.69	0.01	20.29
Красногвардейский	0.38	0.00	17.40	0.79	0.00	24.27
Красносельский	0.35	0.00	30.38	0.74	0.00	17.39
Московский	0.37	0.05	10.12	0.88	0.02	29.40
Невский	0.32	0.00	19.52	0.72	0.00	22.35
Петроградский	0.63	0.61	8.073	1.43	1.04	12.84
Приморский	0.41	0.00	45.27	0.89	0.00	27.20
Фрунзенский	0.31	0.00	8.961	0.66	0.00	18.49
Центральный	0.59	0.56	3.323	1.36	0.94	11.77
Среднее по городу	0.43	0.16	17.88	0.92	0.23	21.10

Из приведенных в таблице 1 результатов можно сделать вывод о неоднородности распределения АПТ по некоторым районам города (медиана сильно отличается от среднего). Так же на основании полученных значений можно рассчитать средний и суммарный тепловой поток городской застройки при определенных температурах атмосферного воздуха, рисунок 1.

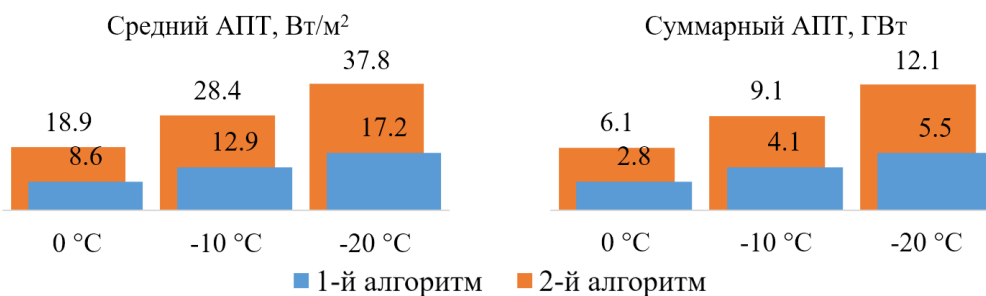


Рис. 1. Средние и суммарные АПТ при разных температурах атмосферного воздуха, рассчитанные по 1-му и 2-му алгоритму.

Карты и гистограммы распределения плотности АПТ приведены на рисунках 2 и 3. Около 60% ячеек имеют поток меньше 5 Вт/м², это территории парков, водоемов, широких улиц/проспектов. По остальным ячейкам распределение сильно зависит от алгоритма расчета и температуры атмосферного воздуха.

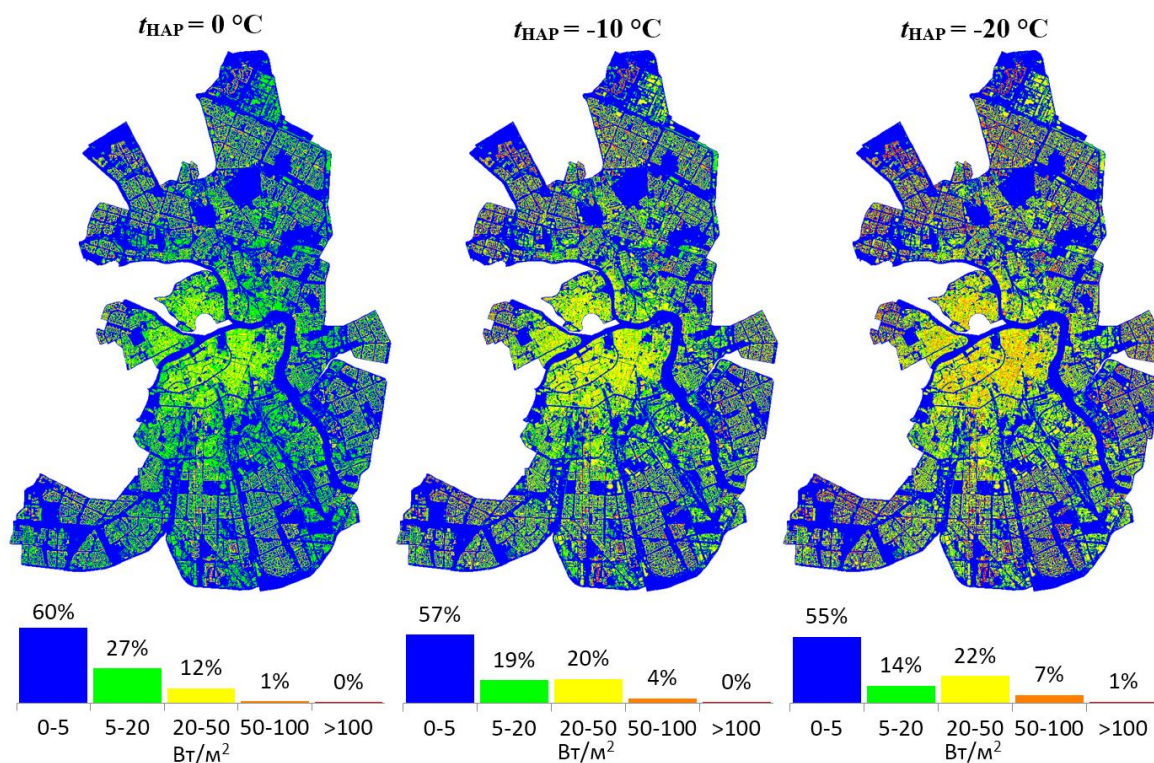


Рис. 2. Карта распределения плотности АПТ по территории Санкт-Петербурга при разных температурах атмосферного воздуха, полученная по 1-му алгоритму.

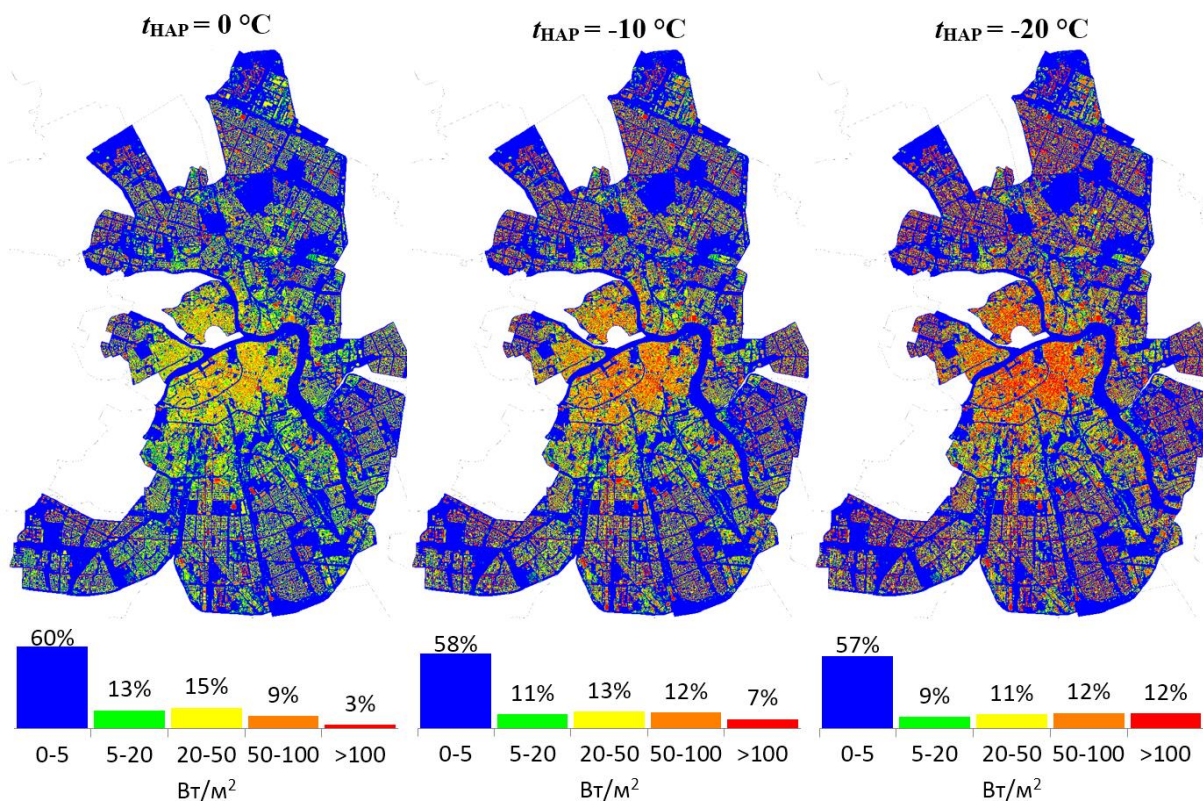


Рис. 3. Карта распределения плотности АПТ по территории Санкт-Петербурга при разных температурах атмосферного воздуха, полученная по 2-му алгоритму.

ВЫВОДЫ

Предлагаемый подход позволяет оценить энергозатраты на отопление и вентиляцию зданий при различных внутренней и наружной температурах. Каждый описанный в этой статье алгоритм имеет свои плюсы и минусы. Первый алгоритм будет полезен при оценке экономического и экологического эффекта от потенциального изменения строительных материалов в ограждающих конструкциях зданий города, например массовая замена окон и витражей, на энергоэффективные с большим коэффициентом сопротивления теплопередачи. Вместе с этим первый алгоритм имеет слабое место, а именно предположение, что все здания города соответствуют текущим СП и ГОСТ. В исторических городах, таких как Санкт-Петербург, есть множество старых домов, характеристики которых могут не соответствовать современным требованиям. Второй алгоритм использует удельную характеристику, которая лежит в основе определения классов энергетической эффективности многоквартирных домов. В зависимости от отклонения от этой характеристики домам присваивается разный класс. На сегодняшний день классы энергетической эффективности в Санкт-Петербурге присвоены более чем четырем тысячам домов [9]. Используя эти данные, можно улучшить оценку по второму алгоритму, а имея данные по каждому дому можно получить достаточно точные значения АПТ.

Описанные алгоритмы являются универсальными и могут применяться в расчете АПТ по любой урбанизированной территории, если есть информация о контурах и высоте зданий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 20-05-00254.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свод правил. Строительная климатология (СП 131.13330.2012). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (дата обращения: 29.03.2021).
2. Свод правил. Тепловая защита зданий (СП 50.13330.2012). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095525> (дата обращения: 10.09.2021).
3. Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях (ГОСТ 30494-2011). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095053> (дата обращения: 29.03.2021).
4. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org> (дата обращения: 10.09.2021).
5. Система классификаторов Санкт-Петербурга. URL: <https://classif.gov.spb.ru> (дата обращения: 12.06.2022).
6. Гинзбург А.С., Евсиков И.А., Фролькис В.А. Зависимость антропогенного потока тепла от температуры воздуха (на примере Санкт-Петербурга) // Известия РАН, сер. Физика атмосферы и океана. 2021. Т. 57. № 5. С. 526–538. DOI 10.31857/S0002351521050060.
7. Подкопаева Е.В., Шехватова А.Н., Семенова Э.Е. Исследование ограждающих конструкций общественных зданий // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2020. № 3-4(41-42). С. 6–11.
8. Фролькис В.А., Евсиков И.А. Расчет антропогенного потока тепла за период отопительного сезона в мегаполисе (на примере Санкт-Петербурга) // ENVIROMIS 2022. С. 395–398.
9. Пресс-служба СПбГБУ «Центр энергосбережения». URL: <https://gbuce.ru/press-sluzhba/novosti/bolee-150-peterburgskim-domam-prisvoen-klass-energoeffektivnosti> (дата обращения: 17.12.2022).

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ ВОПРОСОВ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Е.М. Коченкова¹, А.В. Денисов²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹*liza21@list.ru*

²*den-al-v@inbox.ru*

Аннотация

Предметом исследования являются вопросы информационного моделирования при решении вопросов защиты окружающей среды объектов капитального строительства на этапах их жизненного цикла. Технологии информационного моделирования (ТИМ) в строительстве и экологичное проектирование активно параллельно развиваются в настоящее время. Авторы ставят своей целью обосновать применимость ТИМ для защиты окружающей среды. В исследовании решаются соответствующие цели задачи, такие как оценка возможностей ТИМ, анализ методологии защиты окружающей среды объектов капитального строительства, исследование специальной литературы по данной тематике. Отмечается некоторая стагнация в области экологичного строительства. В качестве вывода отмечается необходимость разработки единой системы стандартов в исследуемой области, а также отечественных интероперабельных технологий Green BIM. Для решения указанных задач необходимы дальнейшие исследования и разработка организационной структуры и методологии интеграции Green BIM в существующую систему защиты окружающей среды, а также дополнительные предложения по качественному ускорению темпов развития экологичного строительства в РФ.

ВВЕДЕНИЕ

Предмет данного исследования – вопросы информационного моделирования при решении вопросов защиты окружающей среды объектов капитального строительства.

Технологии информационного моделирования (ТИМ) приобретают всё большее значение в области строительства в связи с цифровизацией национальной экономики [1–3]. Для объектов государственного значения создание информационной модели уже стало обязательным условием для реализации проекта. Успешные компании уже перешли на ТИМ, отечественные разработчики ПО также активно разрабатывают и совершенствуют свои продукты в данной области. В этой связи нельзя не отметить и свежие изменения в Постановлении Правительства РФ №87 от 16 февраля 2008 г. о составе проектной документации и требованиях к их содержанию (далее Постановление № 87), которые позволяют представлять проект в государственную экспертизу в форме информационной модели.

Защита окружающей среды в 21-ом веке – исключительная необходимость во всем мире. Как и цифровизация национальной экономики, вопросы экологии и устойчивого развития являются приоритетными направлениями государственной политики РФ, в том числе и в строительстве. В обновлённой редакции Постановления № 87 также особое внимание уделено данной области, особенно в части энергоэффективности. Качественное планирование и организация мероприятий по охране экосистемы – главный залог поддержания благоприятной экологической обстановки [4].

На данный момент вышеперечисленные направления активно развиваются, практически не пересекаясь на практике. В данном исследовании цель авторов – научное обоснование применимости технологий информационного моделирования в целях защиты окружающей среды и определение задач, решение которых необходимо для организации информационной модели, учитывающей влияние объекта на экосистему, на всех стадиях жизненного цикла объекта капитального строительства.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

- 1) оценка возможностей, ограничений и перспектив развития информационных технологий в строительстве;
- 2) анализ методологии и организации защиты окружающей среды объектов капитального строительства;
- 3) исследование нормативно-технической базы и научных работ по исследуемой теме;
- 4) анализ возможностей информационного моделирования при решении защиты окружающей среды, выявление основных проблем и поиск их решения;
- 5) предложения по развитию системы экологичного проектирования и строительства, интеграции «зеленых» ТИМ (Green BIM) относительно как отдельных объектов, так и целых зон застройки.

Отмечено, что вопросы интеграции мероприятий по защите окружающей среды в общую информационную модель, причем как технических, так и организационных ранее практически не исследовались. Идея организации модели, учитывающей экологические требования на всех стадиях жизненного цикла, несомненно обладает научной новизной. Кроме того, в рамках исследования авторами рассматриваются возможные причины стагнации в области эко-проектирования, решения которых будут предложены в дальнейших исследованиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование основано на методах системного анализа (ретроспективный, функционально-структурный), теории регулирующих воздействий и изучению отечественных и зарубежных научных работ по исследуемой тематике.

В составе исследования проводится анализ действующей нормативно-технической документации в строительстве. Особое внимание уделяется методам оценки негативного влияния объектов капитального строительства на окружающую среду, способам его снижения и защиты от него, аспектам экологичного проектирования, экологическому нормированию в строительстве, «зеленым стандартам» и технологиям информационного моделирования как отдельного объекта капитального строительства, так и комплексной застройки. Исследуются перспективы нормотворчества в данной сфере, предлагаются конкретные вопросы для рассмотрения и их возможные решения.

Рассматриваются, анализируются и структурируются современные методы и мероприятия по защите и мониторингу окружающей среды, отмечаются самые эффективные из них, делаются предложения по внедрению исследуемых методов в информационную модель и формированию на ее основе соответствующего раздела ПД.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экологическая безопасность – одно из важнейших требований, возникающих при строительстве, реконструкции или капитальном ремонте любого объекта капитального строительства. В этой связи необходимо ввести в исследование термин «экологичное (зеленое) проектирование», который для мировой науки уже не нов [5], но активно исследуется, расширяется и актуализируется в настоящее время. Экологичное проектирование базируется на 3 принципах: экологическом, экономическом и обеспечивающем сохранение окружающей среды.

Мероприятия по защите окружающей среды содержатся в проектной документации и опираются на результаты инженерно-экологических изысканий. Оценивается воздействие проектируемого объекта на экосистему как на периоде строительства, так и во время дальнейшей эксплуатации. При этом проводятся расчеты приземных концентраций загрязняющих веществ, их рассеивания, а также акустические расчеты по установленным методикам в сертифицированных программных комплексах [6]. В рамках проекта предусматриваются организационные и технические мероприятия по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия намечаемой

хозяйственной деятельности на окружающую среду и рациональному использованию природных ресурсов. На данный момент раздел ПД «Мероприятия по охране окружающей среды» в большинстве организаций разрабатывается без применения ТИМ, и специалисты зачастую отмечают недоработанность многих вопросов, неувязки данного раздела с другими разделами ПД на стадии строительства, сложности при выполнении положений из данного раздела на этапе эксплуатации, а также устаревания некоторых методик оценки негативного влияния.

Следует отметить, что проблема ограниченности ресурсов звучит все громче с каждым годом, все чаще обсуждаются проблемы, связанные с производством восполняемых ресурсов, а значит экологический контроль и мониторинг приобретают все большее значение. Стандартизация в области экологичного строительства активно развивается во всем мире и с относительно недавнего времени в России, но уже очевидна острая потребность и нехватка качественно проработанной и продуманной системы [7].

Общепризнанными и самыми распространенными в мире системами экологических стандартов являются BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method, Великобритания), LEED (The Leadership in Energy and Environmental Design – США), DGNB (Deutsch Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – Германия). У каждой из вышеперечисленных систем есть свои неоспоримые достоинства, но ни одна из них не учитывает особенности инвестиционно-строительной деятельности и природно-климатические особенности РФ [8].

Отечественные стандарты в данной области также развиваются, но пока что отстают от иностранных аналогов. Еще в 2011 году был разработан СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011 «“Зеленое строительство”. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания». Данная система делает упор на показатели энергоэффективности и не получила широкого распространения.

Одна из самых заметных российских систем – Green Zoom. В соответствии с ежегодным отчетом АНО «НИИУРС» за 2021 год 152 здания в России имеют указанную сертификацию по стандарту НИИ устойчивого развития в строительстве. Система устойчивого развития в строительстве Green Zoom включает комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности, водоэффективности и экологичности строящихся объектов, комфортности городской среды для новых объектов и эксплуатируемых зданий.

Что касается официальных национальных систем стандартизации, они продолжают разрабатываться и развиваться, но этот процесс не носит системный характер. Большинство разработанных ГОСТ носят рекомендательный или даже предварительный характер и практически не применяются на практике.

Как уже отмечено выше, технологии информационного моделирования становятся неотъемлемой частью всех процессов в рамках жизненного цикла объекта строительства, начиная от концепта и заканчивая проектом демонтажа.[9,10] Аспекты по защите окружающей среды объекта – не исключение, в этой связи развивается раздел информационного моделирования Green BIM [11,12].

В России разработано несколько сводов правил, посвященных вопросам информационного моделирования (один из самых свежих – СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационных моделей объектов на различных стадиях жизненного цикла»). Главным требованием к информационной модели признана интероперабельность системы, в случае с Green BIM указанное требование становится одной из основных задач на пути к широкому применению на практике. В России по факту отсутствуют качественные отечественные решения в данной области, которые можно интегрировать в современные программные комплексы, реализующие ТИМ.

ВЫВОДЫ

Одним из главных выводов исследования является необходимость качественной тщательной доработки единой системы экологических нормативов как для объектов капитального строительства, так и для территории и застройки. Одной из основных причин замедленного развития зеленого строительства в РФ можно назвать незаинтересованность большей части участников строительной деятельности в применении экологических проектных решений. Вышеотмеченная система должна быть адаптирована под отечественные реалии и максимально удовлетворять интересам участников строительства, которых по возможности следует привлечь к разработке указанных стандартов. На сегодняшний день применение эко-стандартов в России влечет за собой значительное удорожание работ и проекта в целом. В дальнейших исследованиях необходимо рассмотреть данный вопрос подробнее, предложить способы и методы преодоления указанной проблемы.

В соответствии с целью исследования отметим, что задачи защиты окружающей среды и устойчивого развития в перспективе качественно решаются с применением ТИМ на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. Для их реализации и интеграции необходимы технические решения в данной области, а также разработка организационной структуры и методологии по их интеграции в существующую систему инвестиционно-строительной деятельности. Своевременно пополняемая и изменяемая фактическая информационная модель позволит отслеживать влияние различных процессов и явлений и соответственно реагировать на них в целях защиты окружающей среды на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства. Предполагается, что проекты станут качественнее и информативнее, позволят всем участникам проекта принимать грамотные решения, направленные на своевременное решение и предотвращение всех возможных проблем, возникающих на любой стадии проекта. Данные вопросы относительно каждого этапа жизненного цикла объекта строительства, а также района застройки также еще предстоит изучить и рассмотреть подробнее.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sborshikov S.B., Vvedenskiy R., Markova I.* The application of simulation modelling in making operational decisions in construction // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2021. Т. 1030, № 1. С. 012106.
2. *Мотылев Р.В., Абракова Ю.Л.* Технологии информационного моделирования в вопросах организации строительного производства // Организация строительного производства : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 104–126.
3. *Агаханова К.А.* Информационное моделирование проекта организации строительства // Строительство - формирование среды жизнедеятельности : Электронный ресурс: сборник трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных. Москва, 2017. С. 580–582.
4. *Бродач М.М., Шилкин Н.В.* Стратегия устойчивого развития - основа создания здоровой среды обитания // Энергосбережение. 2021. Т. 4. С. 1–11.
5. *Etenko V.P.* Экологические проблемы высотных зданий // Жилищное строительство. 2015. № 12. С. 41–44.
6. *Коченкова Е.М., Майоров С.В., Сборщиков С.Б.* Санитарно-защитные зоны в условиях существующей застройки // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. Т. 4, № 36. С. 89–102.
7. *Жуковская А., Гераськин Ю.М.* Применение зеленых стандартов в России : проблемы и перспективы // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11, № 2. С. 1–8.
8. *Kochenkova E.M.* Environmental protection. Features of information modeling at the stages of the high-rise building life cycle // Строительство - формирование среды жизнедеятельности : Сборник материалов семинара молодых учёных XXV Международной научной конференции. Москва, 2022. С. 115–120.
9. *Мещеракова М.А., Чуканова Е.Н.* Особенности внедрения технологии информационного моделирования в строительную организацию // Цифровая и отраслевая экономика. 2022. Т. 27, № 2. С. 4–8.
10. *Зеленцов Л.Б., Н. Г. Токаева, Х. М. Исхаков, А. Шайко.* Проблемы перехода проектных организаций РФ на использование систем информационного моделирования // Актуальные проблемы науки и техники. 2019 : Материалы национальной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2019. С. 485–486.

11. *Maltese S. et al.* Sustainability Assessment through Green BIM for Environmental, Social and Economic Efficiency // *Procedia Eng.* 2017. Т. 180. С. 520–530.
12. *Шеина С.Г., Умнякова Н.П., Салтыков Н.О.* Green bim – новый подход к проектированию и строительству // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности.* 2019. Т. 4, № 382. С. 246–250.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ МАЛОМУТНЫХ ЦВЕТНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИЕ И БАКТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

У.С. Канивец¹, Ж.М. Говорова²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹*u.rudich@mail.ru*

²*GovorovaZhM@mgsu.ru*

Аннотация

Низкая мутность, высокий показатель цветности, присутствие значительного количества органических примесей в исходной воде усложняют процесс водоподготовки и обеспечения соблюдения минимально допустимых показателей качества питьевой воды. В результате обработки таких вод хлорсодержащими реагентами происходят реакции, сопровождающиеся выделением токсичных побочных продуктов, способных наносить ущерб здоровью человека. Задача может быть усложнена тем, что изначально принятая технологическая схема очистки воды выбрана неверно и не способна обеспечить эффективную работу сооружений. Встает вопрос о разработке комплексного решения, учитывающего особенности очистки маломутных вод, позволяющего достичь необходимой степени очистки и гарантирующего безопасность при использовании ее водопотребителями в хозяйственно-питьевых целях. В данной статье представлены результаты разработки и конструирования экспериментальной установки, режим и технологические параметры которой соответствуют работе действующих очистных сооружений. Опытным путем были выбраны виды используемых реагентов и необходимое для корректной работы очистных сооружений дозы и соотношения вводимых растворов.

ВВЕДЕНИЕ

Подготовка для хозяйственно-питьевых целей маломутных цветных вод, характеризующихся высоким уровнем бактериального загрязнения, присутствием органических веществ и иных примесей является комплексной задачей, решение которой усложняется в случае необоснованного применения технологии осветления и обесцвечивания воды в осветлителе со слоем взвешенного осадка (ОВО).

Анализ работы действующих очистных сооружений [1] показал, что образование таких побочных продуктов как тригалогенметанов (ТГМ) в результате обеззараживания воды, является неизбежным процессом. Проблема усугубляется высокой мутагенной и канцерогенной активностью данных соединений, способных оказывать пагубное воздействие на организм человека [2, 3].

Ранее была установлена корреляционная связь между концентрацией образовавшегося хлороформа (наиболее распространенное соединение, относящееся к ТГМ) и показателями качества обрабатываемой воды, а также выбранными параметрами работы водопроводных очистных сооружений [4]. Это было подтверждено в результате изучения динамики изменения качества воды по мере прохождения этапов технологической цепи [5, 6].

Результаты анализа многолетней работы ОВО в условиях пониженного показателя мутности обрабатываемой воды доказывают необоснованность включения данного сооружений в общую технологическую схему очистки природных вод. Процесс осветления происходит вяло и не позволяет достигнуть требуемых качественных характеристик.

Работа ОВО может быть скорректирована путем изменения режима реагентной обработки, подбором оптимальных доз, вводимых коагулянта и флокулянта, добавлением дополнительных этапов очистки, повышением показателя мутности воды искусственным

путем, интенсификацией работы ОВО при помощи устройства тонкослойных модулей или рециркуляторов осадка в рабочей камере, а также размещения дополнительного слоя контактной загрузки [7].

С учетом вышеизложенного приобретает актуальность вопрос об изучении процесса очистки воды такого сложного состава на экспериментальной установке моделирующей работу сооружений и процессы протекающие в них.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования выступают природная вода, физико-химические показатели которой приведены в таблице 1. Для речной воды характерен высокий уровень бактериальной загрязненности, так ОМЧ достигает 7300 КОЕ/1 мл, ОКБ и ТКБ - 9600 КОЕ/100 мл, колифаги – до 167 БОЕ/100 мл.

Таблица 1. Показатели качества речной воды

Показатель	Значение
Цветность, град	16-205
Мутность, ЕМФ	0,46-12,4
Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /дм ³	4,8-33
ХПК, мгО ₂ /дм ³	7-82
Хлорпоглощаемость, мг/дм ³	0,2-8,7

Предметом для проводимого исследования стала технология очистки природной воды, существующая на действующей станции водоподготовки, работающая в условиях высокого показателя цветности, в отдельные периоды года превышающий 200 град., низкого значения мутности, который, как правило, не превышает отметку 12 ЕМФ. высокого содержания загрязнений органического и бактериологического характера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью проведения исследований процесса очистки маломутных цветных вод, содержащих органические и бактериальные загрязнения, была разработана и сконструирована экспериментальная установка, фотографии которой приведены на рисунке 1.



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

Данная установка, моделирующая процесс очистки, состояла из нескольких блоков (рис. 2), взаимосвязанных между собой и полностью реализующая режимы обработки воды, которые были приняты на реальных очистных сооружениях, что позволяло оценить изменения показателей качества очищаемой воды по мере ее прохождения.

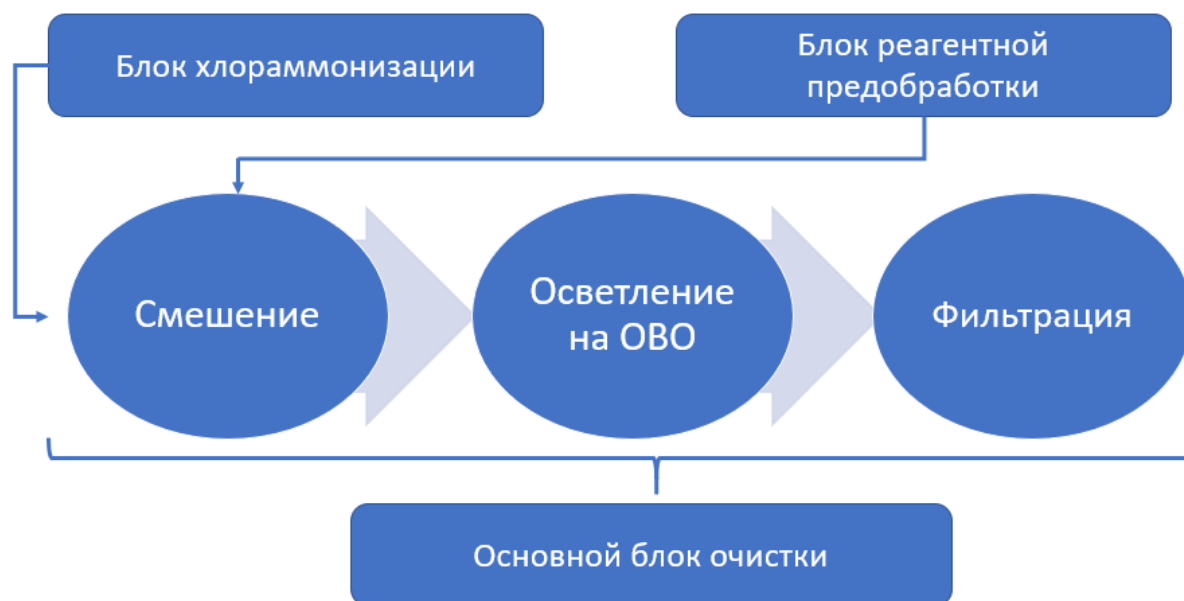


Рис. 2. Схема экспериментальной установки.

Для осуществления процесса хлораммонизации в качестве реагентов в практике водоподготовки получили распространение такие вещества как хлорид аммония (хлористый аммоний), водный раствор аммиака (аммиачная вода) и сульфат аммония. При сравнении уровня безопасности хранения и транспортировки реагентов, а также уровня коррозионной активности веществ, предпочтение было отдано сульфату аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Блок хлораммонизации, входящий в состав экспериментального стенда, предусматривал подачу реагента с дозой в интервале от 0,3 до 0,8 мг/дм³.

Блок реагентной предобработки включал в себя емкости для приготовления рабочих растворов коагулянта и флокулянта и насосы-дозаторы, которые обеспечивали соответствие количества вводимого реагента расчетным значениям, а также смеситель. Подбор доз используемых реагентов осуществлялся пробным путем, а также с учетом производственного опыта эксплуатации очистных сооружений и изменчивостью качественных показателей исходной воды. Была изучена эффективность воздействия на обрабатываемую воду таких коагулянтов как сульфат алюминия, полиоксихлорид алюминия (Аква-Аурат-30), полиоксихлорил алюминия (Аква-Аурат 105М). В качестве флокулянта рассматривались полимер акриламида (ПАА), Praestol 650, 852 и 2640.

Блок основных сооружений состоял из моделей осветлителя со слоем взвешенного осадка и скорого фильтра.

Исходная вода поступала в механический смеситель, оснащенный лопастной мешалкой, куда так же с помощью насосов-дозаторов подавались реагенты и перемешивались в течение 0,3-2,0 минут, после чего обрабатываемая вода попадала в рабочую камеру осветлителя со слоем взвешенного осадка коридорного типа. Скорость восходящего потока составляла 0,4-1,2 мм/с. Высота рабочей камеры составляла 5600 мм. Завершающим этапом обработки воды являлась ее фильтрация со скоростью фильтрования 1-2,5 м/ч через слой тяжелой загрузки из кварцевого песка. Образующий в результате осветления воды осадок отводился в осадкоуплотнитель и затем отправлялся на последующую обработку. В отдельной серии опытов в рабочей камере и осадкоуплотнителе осветлителя размещался контактный слой плавающего полимерного

материала, толщиной не более 0,5 м. На каждом этапе осуществлялся контроль работы установки в различных режимах.

На предварительном этапе были определены гидравлические нагрузки на экспериментальную установку (таблица 3).

Таблица 3. Гидравлические нагрузки

№ опыта	Распределение воды								
	Рабочая камера - 100%			Рабочая камера с контактной загрузкой - 80%			Осадкоуплотнитель с контактной загрузкой - 20%		
	зона ОВО	расход общий на ОВО		расход воды и скорость фильтрации			расход воды и скорость фильтрации		
	V_0 м/ч	q_1 м ³ /ч	q_2 л/с	q_1 м ³ /ч	q_2 л/с	V_1 м/ч	q_1 м ³ /ч	q_2 л/с	v_2 м/ч
1	1,45	0,071	0,020	0,057	0,016	1,16	0,014	0,004	2,14
2	2,17	0,106	0,029	0,085	0,024	1,73	0,021	0,006	3,32
3	2,89	0,141	0,039	0,113	0,031	2,30	0,028	0,008	4,42
4	3,7	0,177	0,049	0,141	0,039	2,88	0,035	0,010	5,53

Разработанная экспериментальная установка позволяет решать широкий круг задач:

- отслеживание динамики изменения качества поступающей воды после реагентной обработки по всем ступеням очистки;
- оценка воздействия основных показателей качества воды на выбор типа реагента, его дозы и концентрации;
- осуществление подбора гидравлических режимов работы экспериментальной установки, позволяющих обеспечить оптимальное ее функционирование;
- изучение влияния изменения гидравлических нагрузок на стабильную работу очистных сооружений;
- сравнение эффективности очистки воды в зависимости от принятых технологических решений.

ВЫВОДЫ

Проблема очистки маломутных цветных вод на действующих очистных сооружениях, предусматривающих обработку по двухступенчатой схеме на ОВО и фильтрах связана со сложностью обеспечения требуемой степени очистки, а содержание органических и бактериологических примесей приводит к образованию небезопасных для здоровья человека побочных продуктов. В результате проведенной работы была сконструирована экспериментальная установка, позволяющая осуществить комплексный подход к решению поставленной задачи, оценить эффективность работы каждого из блоков технологической схемы, подобрать оптимальные режимы реагентной обработки воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудич У.С., Говорова Ж.М. Анализ работы осветлителей со слоем взвешенного осадка в условиях пониженного показателя мутности исходной воды. В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2021. Сборник докладов Второй Национальной научной конференции. Москва, 2022. С. 1020-1025.
2. Лысый А.Ю., Рыженко С.А., Капшук В.Г., Грузин И.И., Яковец Н.Ф. и др. Анализ состояния загрязнения питьевой воды тригалогенметанами и его влияние на онкологическую заболеваемость населения Кривбасса. Актуальные проблемы транспортной медицины. 2008. № 4 (14). С. 102-108.
3. Малкова М.А., Жигалова А.В., Хузиахметова А.А., Хусаинова И.А. Оценка связи содержания тригалогенметанов в воде с числом обращений населения в медучреждение по болезням кожи. В книге: 67-Я Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Сборник материалов конференции. 2016. С. 492-493.
4. Рудич У.С., Говорова Ж.М. Проблема образования побочных продуктов при подготовке цветных маломутных вод. В сборнике: Строительство - формирование среды жизнедеятельности. Сборник

- материалов семинара молодых учёных XXIV Международной научной конференции. Москва, 2021. С. 166-172.
5. *Govorova Z., Rudich U., Govorov V., Gorenko G.* Evaluation of barrier functions of traditional water supply facilities in relation to toxic trihalomethanes. В сборнике: МАТЕС Web of Conferences. 2018. С. 03032.
 6. *Рудич У.С., Говоров В.О.* Изучение динамики образования тригалогенметанов в процессе водоподготовки. В сборнике: Молодые исследователи - регионам. материалы Международной научной конференции: в 3 томах. 2019. С. 381-383.
 7. *Govorova Z., Rudich U., Govorov O.* Pre-ammonization in the preparation of chromaticity water for drinking purposes. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Т. 170. С. 505-512.

ЭЛЕКТРООКИСЛЕНИЕ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ

Е.В. Алексеев

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,
AlekseevE@mgsu.ru*

Аннотация

Широкое применение в промышленности и быту химических препаратов обуславливает их присутствие в составе сточных вод, практически, всех категорий. Наибольшую проблему для защиты водных объектов от загрязнения представляют стойкие органические вещества (СОВ), которые не подвергаются достаточно полной деструкции на коммунальных очистных сооружениях и накапливаются в окружающей среде. Одним из возможных методов обезвреживания СОВ является электрохимическое окисление. На примере флотошлама – концентрированного отхода очистки сточных вод текстильного предприятия приведены результаты исследований, с целью изучения условий применения электрохимического процесса деструкции СОВ и создание на его основе технологии обезвреживания флотошлама с возможностью регенерации и возврата коагулянта в основной процесс очистки сточных вод. Приведены результаты экспериментов по изучению влияния на эффективность деструкции ПАВ содержания хлорид-ионов, продолжительности электролиза и каталитического действия ионов железа.

ВВЕДЕНИЕ

Сточные воды современных городов, наряду с хозяйственно-бытовыми стоками, содержат в своем составе значительную долю сточных вод промышленных производств. В малых городах доля промышленных сточных вод в общем потоке может преобладать. Поскольку подавляющее большинство коммунальных очистных сооружений реализуют биохимические процессы очистки сточных вод, часть стойких органических соединений с высокой биорезистентностью не удаляется из воды и поступает в водные объекты, обуславливая накопление в окружающей среде [1-3]. Проблема очистки сточных вод от стойких органических веществ (СОВ) в настоящее время частично решается применением разнообразных разделительных процессов, например, флотации, сорбции, экстракции, баромембранного разделения. В результате применения разделительных процессов достигается целевой результат очистки сточных вод от СОВ, однако проблема трансформируется в необходимость обезвреживания концентрированных отходов очистных процессов.

Так, сточные воды предприятий легкой промышленности, широко распространенных по территории страны, содержат значительные количества СОВ, таких как поверхностно-активные вещества (ПАВ), текстильные вспомогательные вещества (ТВВ), синтетические красители (СК) и ряд других, изначально разработанных к стойкости в естественных условиях. В основе технологических процессов очистки сточных вод лежат различные методы отделения загрязняющих веществ с образованием концентрированных осадков и флотошламов. Исследованиями, проведенными в нашей стране и за рубежом, показана возможность использования электрохимических процессов для очистки сточных вод от фенола, крезола, нитросоединений, алифатических аминов, синтетических красителей и других веществ, относимых к СОВ [4-7]. Приводятся сведения о возможности применения электроокисления для деструкции ПАВ [8]. Это послужило основанием для проведения исследований по установлению возможности применения метода электрохимического окисления для удаления органических компонентов из флотошлама очистных сооружений предприятий текстильного профиля.

Цель исследований состояла в разработке метода электрохимической деструкции СОВ, содержащихся в концентрированных отходах от флотационных процессов очистки сточных вод текстильных предприятий легкой промышленности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение возможности и условий применения электролиза для деструкции СОВ было проведено на примере концентрированных растворов ПАВ в составе флотошлама, отводимого от компрессионных флотационных установок очистки сточных вод красильно-отделочного производства. Концентрация ПАВ в жидкой фазе флотошлама, в среднем составляла 5 г/дм³.

Задача первого этапа исследований состояла в подборе анодного материала, поскольку именно анодные процессы играют главную роль в деструкции органических веществ. Были изучены кинетика деструкции ПАВ на модельных растворах, а также зависимость удельного расхода электроэнергии от концентрации поваренной соли, используемой в качестве электролитической добавки. В качестве анодных материалов были испытаны платинированный титан и прессованный графит.

В задачи последующих экспериментов входило изучение влияния технологических параметров процесса окисления СОВ на примере ПАВ, таких как содержание хлорид-ионов, продолжительность электролиза и наличие катализаторов окисления.

Исследования по оценке влияния хлоридов на эффективность электрохимической деструкции были проведены на растворах, содержащих соответственно 4, 12 и 16 г/дм³ хлорид-ионов.

В качестве катализатора процесса электрохимической деструкции ПАВ использованы ионы железа, образующиеся при растворении гидроокиси железа, входящей в состав флотошлама, а также добавка ионов железа в виде раствора хлорида FeCl₃. Это обусловлено тем, что при подкислении флотошлама до pH=4 происходит химическое растворение большей части частиц гидроксида железа, а адсорбированные молекулы и мицеллы ПАВ переходят в жидкую фазу. Однако имеющийся запас ионов железа, содержащийся во флотошламе, представлялся недостаточным для исследований в интервале до 100 мг/дм³.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предварительные исследования материала анодов в электролизере не выявили существенных преимуществ анодов из платинированного титана по сравнению с графитовыми. Поэтому в исследованиях применялись только графитовые аноды как наиболее доступные. В качестве катодного материала использовали нержавеющую сталь. Электролиз флотошлама проводили при постоянном межэлектродном расстоянии в 10 мм.

В результате проведенных исследований установлено, что степень электрохимического окисления ПАВ при фоновом содержании хлоридов 500-800 мг/дм³ эффект деструкции ПАВ не превышает 55—60% при энергозатратах 60 - 75 Вт·ч/дм³. Эффективность процесса электрохимического окисления ПАВ при использовании в качестве гомогенного катализатора ионов железа существенно повышается (Рис.1).

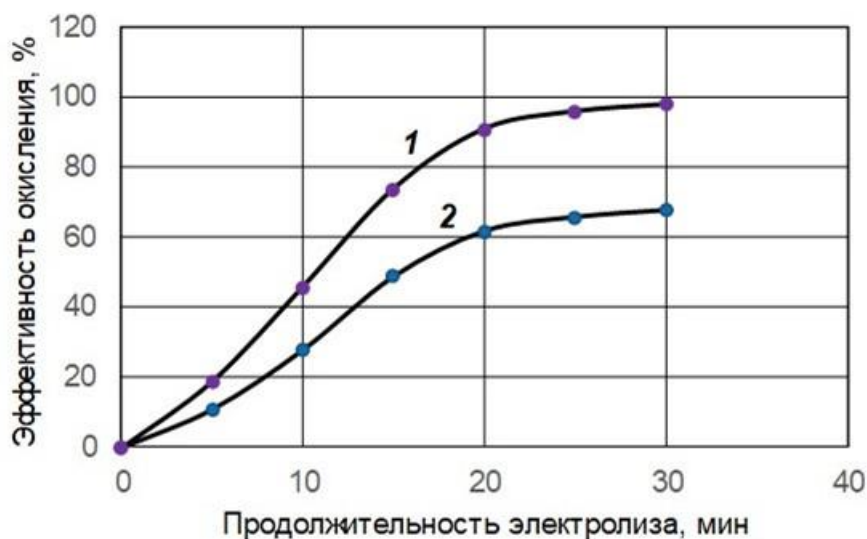


Рис. 1. Динамика электрохимического окисления ПАВ:
1 – в присутствии катализатора; 2 – без катализатора.

Опыты проводились в интервале значений рН от 8,0 до 4,0. Значение рН = 8 соответствовало исходному состоянию флотошлама, в котором ионы железа находились в связанной форме гидроокиси и не могли участвовать в окислительно-восстановительных реакциях. Это соответствует процессу электрохимического окисления ПАВ без катализатора (см. Рис1, кривая 2). При подкислении флотошлама до рН = 4, дисперсия гидроокиси железа переходит в раствор и ионы железа участвуют в электрохимическом процессе в качестве гомогенного катализатора (см. Рис1, кривая 1). В результате исследований установлено, что при электрохимическом окислении ПАВ максимальный эффект наблюдается при рН=4, что соответствует наибольшему содержанию в воде хлорноватистой кислоты (НОС1), обладающей наибольшей окислительной активностью.

Результаты исследования влияния добавки хлорид-ионов на эффективность процесса электрохимической деструкции ПАВ в составе флотошлама показали пропорциональное увеличение эффективности процесса и снижение удельных затрат электроэнергии. Эффективность интенсифицирующего действия совместного присутствия ионов железа с содержанием хлоридов в процессе электрохимического окисления ПАВ представлено на рис.2.

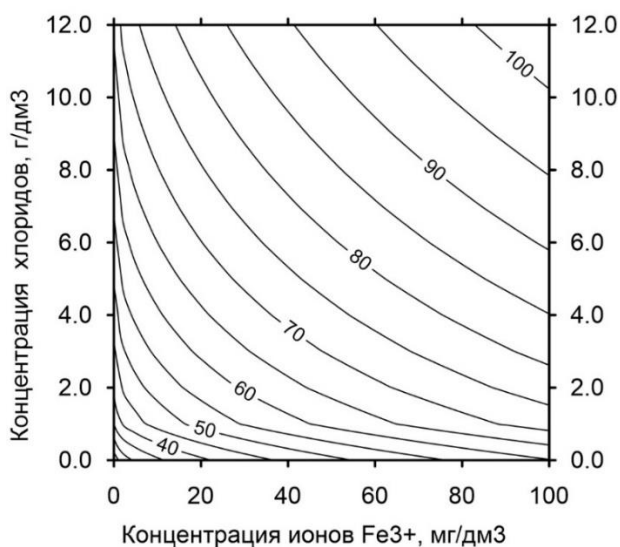


Рис. 2. Эффективность процесса электрохимического окисления ПАВ в присутствии хлорид-ионов и ионов железа в качестве гомогенного катализатора.

Проявление каталитического действия ионов железа подтверждается в работах других авторов [9].

В процессе проведения экспериментов было установлено, что температура электролиза существенно влияет на процесс. С увеличением температуры возрастает скорость окислительных процессов, кроме этого при повышении температуры увеличивается электропроводность воды, что приводит к снижению падения напряжения на электролизере.

Проведенные исследования показали возможность глубокого окисления органических компонентов флотошлама по результатам которых предложен процесс электрохимического окисления СОВ в составе флотошлама с одновременной регенерацией раствора коагулянта. Предложена следующая последовательность технологического процесса. Флотошлам подкисляют кислотой для растворения гидроксида железа с одновременным введением хлорид-ионов. Далее флотошлам поступает в электролизер, где происходит глубокое окисление органических веществ, после чего обработанный флотошлам смешивают с неочищенными сточными водами, подщелачивают смесь до $\text{pH} = 6,5 - 7,5$. В результате этого происходит коагуляция органических загрязняющих веществ коагулянтом, содержащимся в обработанном флотошламе. Таким образом достигается регенерация коагулянта и возврат его в процесс очистки воды.

ВЫВОДЫ

Исследования показали принципиальную возможность глубокого окисления СОВ электролизом. Установлена эффективность каталитического действия ионов железа на процесс электрохимического окисления органических веществ.

Эксперименты по электрохимической деструкции СОВ реального флотошлама подтвердили перспективность использования «попутных» примесей в технологическом процессе его обезвреживания. Результаты исследований подтверждают возможность регенерации коагулянта и использования его в основном процессе очистки сточных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуленина М., Багров В.В., Десятов А.В. Вода техногенная: проблемы, технологии, ресурсная ценность. / Москва: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. - 401 с.
2. Какарека, С. В. Стойкие органические загрязнители: источники и оценка выбросов /С.В.Какарека, Т.И. Кухарчик, В.С.Хомич/ – Минск: РУП Минсктиппроект, 2003. – 220 с.
3. Федеральный закон "О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях" от 27 июня 2011 года N 164-ФЗ.
4. Кузнецов В.В., Ефремова Е.Н., Филатова Е.А., Курдин К.А., Колесников А.В., Пирогов А.В. Электроокисление азобензола и ряда его производных в водных растворах // Вода. Химия и экология. 2016. Вып. 12. С.75–81.
5. Rajkumar D., Kim J. G., Palanivelu K. Indirect Electrochemical Oxidation of Phenol in the Presence of Chloride for Wastewater Treatment. // Chem. Eng. Technol. 2005. Vol.28. P.98–105.
6. Мирзалимова С.А., Киршина Е.Ю., Мухамедиев М.Г. Использование метода электрохимической деструкции для очистки сточных вод от активного красителя Red SPD // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 4. С. 86-102.
7. Алексеев Е.В. Физико-химические процессы очистки сточных вод: Монография. – М.: Издательство АСВ, 2022. – 302 с.
8. В.В. Кузнецов, Е.Н. Ефремова, А.В. Колесников, М.Г. Ачкасов Очистка сточных вод от поверхностно-активных веществ методами электроокисления и электрофлотации. Роль природы поверхностноактивного вещества // Гальванотехника и обработка поверхности. 2016. Т. 24. С.48–55.
9. Hua Y., Wang C., Duan H. and other. Fabrication, characterization and electrocatalytic properties of a solid electrode based on $\text{PW}_{11}\text{O}_{30}\text{Fe(III)(H}_2\text{O)}$ and chitosan// Electrochim. Acta. 2011.Vol. 58, P.99-104.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД АЭРОПОРТОВ ОТ ТРУДНОУДАЛЯЕМЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

А.А. Лезжев¹, С.Е. Алексеев²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹Lezzhev.t@mail.ru

²AlekseevSE@mgsu.ru

Аннотация

В работе рассмотрены факторы и загрязняющие вещества, воздействующие на окружающую среду и близлежащие территории к аэропортам, а именно этиленгликоль, входящий в состав противобледенительной жидкости. Данное вещество токсично и может нанести вред, как организму человека, так и целой территории, например водным объектам, находящимся в непосредственной близости от аэропортов.

Рассмотрены методы производства этиленгликоля, различные варианты применения данного вещества и его технические параметры. Отдельно рассмотрен вариант применения этиленгликоля в противобледенительной жидкости, которую используют в аэропортах. Выявлены факторы воздействия токсичности этиленгликоля и его воздействие на окружающую среду, в том числе водоёмы, находящиеся в непосредственной близости от аэропортов, в которые производится отведение очищенных дождевых и талых вод с территории аэропортов.

Представлены возможные решения данной проблемы, в том числе с учётом зарубежного опыта, но с учетом российских условий и возможностей.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции к улучшению окружающей среды задают новые и более строгие требования к производствам и предприятиям, которые по разным причинам могут им не соответствовать. Это относится и к аэропортам, которые в значительной степени заботятся о безопасности полетов и пассажиров, и иногда не уделяя должного внимания проблемам охраны окружающей среды.

Актуальность и значимость темы связана со сложившейся ситуацией несоблюдения экологических норм в ряде российских аэропортов. Имеется определенный опыт решения рассматриваемой проблемы, в том числе зарубежный, однако он должен рассматриваться применительно к отечественным условиям, в том числе с учетом климатических особенностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследуемый загрязнитель поверхностных сточных вод с площадок противобледенительной обработки самолетов в аэропортах – этиленгликоль. Этиленгликоль $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ — кислородсодержащее органическое соединение, двухатомный спирт, один из представителей полиолов (многоатомных спиртов). В очищенном виде представляет собой прозрачную бесцветную жидкость слегка маслянистой консистенции. Не имеет запаха и обладает сладковатым вкусом. Этиленгликоль применяется в качестве основного компонента противобледенительных составов для обработки гражданских самолетов так как не проявляет коррозионной активности к алюминию и нержавеющей стали. При этом вещество токсично, взрыво- и пожароопасно. Случайный приём внутрь этиленгликоля в больших концентрациях может привести к отравлению [1].

Из-за своей токсичности может нанести колоссальный вред, как отдельному организму, так и множеству биологических существ, попадая в открытые водоемы и распространяясь таким образом по большой территории.

Попадая в организм человека, этиленгликоль, из-за своей токсичности, воздействует в основном на центральную нервную систему и почки, и может вызывать преждевременное разрушение (гемолиз) эритроцитов.

Очень часто этиленгликоль может попадать в поверхностные воды со сточными и тальными водами от производств и предприятий, где его изготавливают или применяют.

При попадании в открытые водоемы этиленгликоль отравляет в том числе рыбу, предельная концентрация этиленгликоля для которых составляет 10 мг/л, а по данным гигиенического норматива ГН 2.1.5.689-98 предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, ПДК этиленгликоля в воде не должно превышать 1 мг/л, вещество относится к 3-ему классу опасности [2].

Исходя из вышеуказанных данных необходимо ответственно подходить к очистке поверхностного стока и утилизации этиленгликоля для избежания попадания его в открытые водоемы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Производство и применение этиленгликоля

Производят этиленгликоль путём гидратации оксида этилена при давлении в 10 атмосфер и при температуре 190-200 °С или же при давлении в 1 атмосферу и температуре 50-100 °С в присутствии 0,1-0,5 % ортофосфорной или серной кислоты, достигая при этом выход продукта до 90%. Побочными продуктами при этом являются диэтиленгликоль, триэтиленгликоль и незначительное количество высших полимергомологов этиленгликоля [1].

Благодаря своей невысокой стоимости этиленгликоль широко используется в производственных процессах и в технике, например:

- как компонент автомобильных антифризов и тормозных жидкостей, что составляет 60% его потребления, смесь 60 % этиленгликоля и 40 % воды замерзает при -49 °С. Применяется с ингибиторами коррозии;
- как теплоноситель с содержанием не более 50 % в системах отопления (частные дома в основном);
- в качестве теплоносителя в виде раствора в автомобилях, в системах жидкостного охлаждения компьютеров;
- в производстве целлофана, полиуретанов и ряда других полимеров. Это второе основное применение;
- для поглощения воды, для предотвращения образования гидрата метана (ингибитор гидратообразования), который забивает трубопроводы при добыче газа в открытом море;
- при производстве полиэтилентерефталата, пластика популярных ПЭТ-бутылок и в целом ряде других процессов.

Этиленгликоль нашел свое применение и в авиатехнике. Он используется в создании противообледенительной жидкости тип «IV» (далее ПОЖ), которой покрывают воздушные суда зимой перед их отправлением, для удаления уже образовавшихся заледеневших осадков, и для избежания их появления на особо важных частях воздушного судна во время взлета [3, 4].

Как можно наблюдать по значениям на графике ниже (Рис. 1), для российских условий (зимой средняя температура в России -10 – -20 °С) содержание этиленгликоля в растворе должно быть от 30% и выше, что влечёт за собой сильные превышения ПДК по содержанию этиленгликоля.

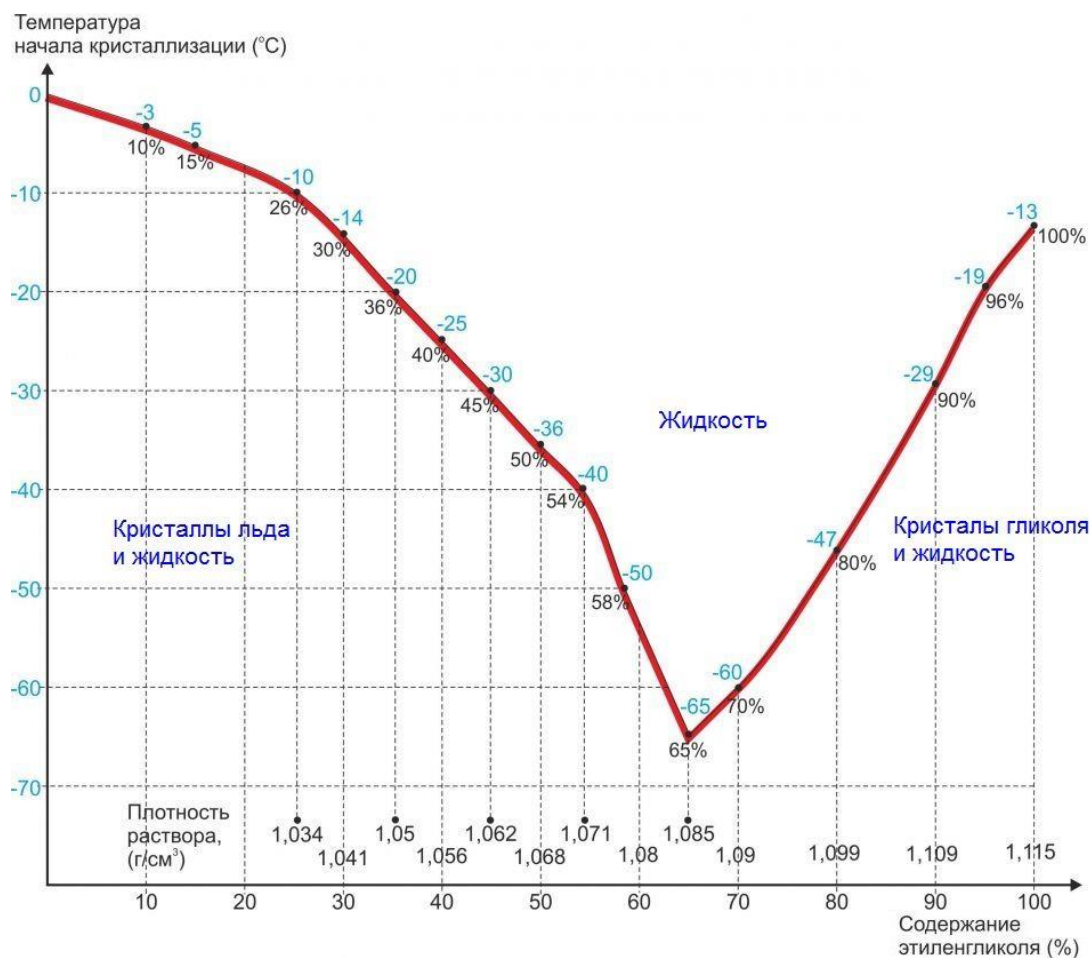


Рис. 1. Влияние концентрации этиленгликоля на температуру кристаллизацию водного раствора этиленгликоля

Очистка поверхностных сточных вод аэропортов от противобледенительной жидкости и этиленгликоля

Очень часто крупные аэропорты (особенно в странах с переменчивым или холодным климатом), в том числе российские, сталкиваются с проблемой повышенного содержания этиленгликоля в поверхностных сточных водах, что в свою очередь приводит к серьёзным штрафам за превышение ПДК от государственных природоохранных организаций. Страдают и находящиеся поблизости с аэропортом территории и водоёмы, в которых погибает рыба.

К сожалению, прекратить использование ПОЖ не представляется возможным из-за угрозы возникновения авиапроисшествий, по причине обледенения самолетов, и рисков для пассажиров.

Для предотвращения попадания этиленгликоля в сточные воды, аэропорт зачастую использует вакуумные пылесосы, с помощью которых можно собрать большую часть концентрированной ПОЖ. Но часть вещества все же остаётся на поверхности взлётно-посадочной полосы (особенно в условиях российских холодов и использования более концентрированных растворов), попадая в общий сток вместе с дождевыми осадками и талыми водами.

В недавно построенных или реконструируемых аэропортах используют специальные площадки с отдельной (изолированной) системой канализации для обработки самолётов, но далеко не все аэропорты могут позволить себе подобное. Однако, даже при таком способе обработки самолетов, ПОЖ так или иначе попадает на поверхность рулежных дорожек и взлётно-посадочной полосы, стекая по фюзеляжу самолёта, когда тот

маневрирует по полосе и на взлёте. После чего вся эта смесь ПОЖ, осадков и талых вод отправляется на очистные сооружения для поверхностного стока, но типовые технологии и сооружения по очистке поверхностных стоков, практически не очищают воду от этиленгликоля. Соответственно их нужно улучшать. Но в современных реалиях, мало кто может предложить эффективное решение [5].

Опыт зарубежных специалистов не удастся применить напрямую как по причине трудностей в мировом сообществе, так и по причине разнящихся климатических условий с Россией. Разлагается этиленгликоль при температуре выше 10 °С, но в условиях России для накопления всего талого стока, потребуется резервуар размером с озеро, что по понятным причинам является не малой трудностью даже с учетом больших территорий аэропортов.

В зарубежной практике прибегают к очистке при помощи почвенных микроорганизмов на заболоченных территориях. Но эффективность подобной очистки составляет лишь 30-40%, что с учетом климатических условий нашей страны и повышенных концентраций этиленгликоля в растворе будет не эффективным.

Существует возможность сливать сток на специально оборудованные площадки, но для этого также потребуются вложения и немалая территория [7].

Появились публикации о разработке отечественными специалистами инновационного метода обработки стока, который заключается в выделении чистого этиленгликоля из собранного ПОЖ. Вместо того чтобы уничтожать отработанную ПОЖ, авторы предлагают отправлять ее на переработку для выделения чистого этиленгликоля и передачи его на переработку, где очищенный этиленгликоль используют повторно, добавляя различные присадки и получая новый раствор ПОЖ. Схема регенерации этиленгликоля из использованного ПОЖ представлена на рис. 2. В основе технологии выделения этиленгликоля из отработанного раствора ПОЖ применяется ректификационная колонна с системой рекуперации тепла. Выделенные этиленгликоль с концентрацией более 80%, может считаться товарным продуктом с определенной стоимостью. Технологическое оборудование достаточно компактно и не потребует выделения значительных территорий под строительство блока [8, 9, 11].

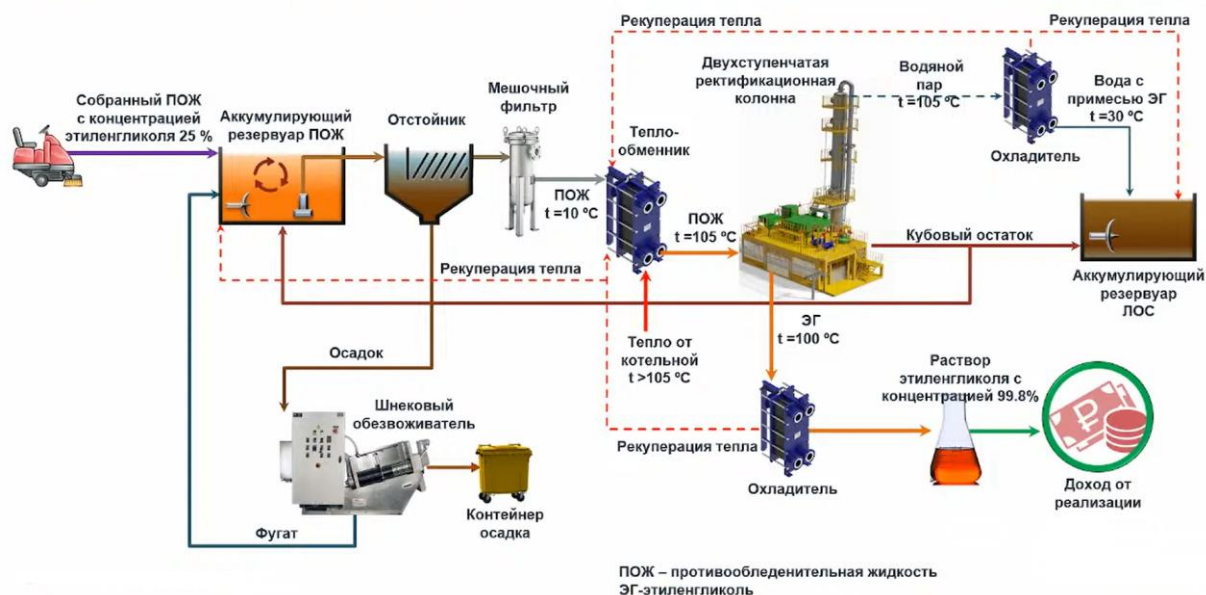


Рис. 2. Схема регенерации этиленгликоля в условиях аэропорта

Большие аэропорты со значительным количеством используемой ПОЖ могут установить у себя специальную ректификационную установку для получения технического этиленгликоля, что позволит окупить оборудование за 3-4 года. А через 7-8 лет это покроет капитальные и эксплуатационные вложения на модернизацию сооружений по очистке поверхностных сточных вод. На эффективность работы

технологии существенное влияние оказывает метод сбора отработанной ПОЖ и концентрация этиленгликоля в ней. Так технологию можно уверенно считать рентабельной при концентрации этиленгликоля более 24%.

Для очистки поверхностных сточных вод содержащих небольшие количества ПОЖ есть возможность использовать небольшое биологическое очистное сооружение, микроорганизмы в котором адаптированы к повышенному содержанию этиленгликоля. А чтобы они работали эффективно, необходимо поддерживать в биореакторе оптимальную для них температуру. В результате чего микроорганизмы расщепляют этиленгликоль на 98-99%. Остаточные концентрации могут быть удалены физико-химическими методами [8].

Аэропорты средних и малых размеров, с небольшими объёмами концентрированной ПОЖ, могут обойтись и без ректификационной установки. Концентрированную ПОЖ собирая и отправляя на утилизацию, а для поверхностных стоков, встроив в существующие очистные сооружения блок по очистке от этиленгликоля.

ВЫВОДЫ

Соблюдение аэропортами экологических норм и требований, является крайне важным аспектом для находящихся поблизости жилых районов и водоёмов.

Для аэропортов всех размеров, где применяется ПОЖ рекомендуется организовывать специальные площадки для предполетной обработки с отдельной системой сбора отработанной ПОЖ.

Внедрение технологии обработки отработанной ПОЖ с выделением этиленгликоля в виде товарного продукта можно рекомендовать для крупных аэропортов со значительными объемами использования ПОЖ, что сократит срок окупаемости оборудования.

Для системы отведения и очистки поверхностного стока с аэродромной территории, кроме площадок обработки самолетов ПОЖ, может быть эффективным применения блока биологической очистки воды от этиленгликоля с доочисткой физико-химическими методами.

Использование вышеуказанных технологий поможет сделать сточные воды безопасными для окружающих территорий, людей и животных. Сам же повторно полученный концентрат этиленгликоля можно использовать в качестве сырья для производства, в том числе и для повторного создания противообледенительной жидкости. Этот факт является и будет являться экономически и экологически привлекательным ещё долгие годы, особенно с учётом развития воздушных рейсов как грузового, так и пассажирского назначения и, как следствие, увеличение потребления ПОЖ.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 19710-2019 Этиленгликоль. Технические условия : дата введения 2020-05-01 / Росстандарт : - официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.
2. ГН 2.1.5.689-98 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. официальное издание, М.: Минздрав России, 1998 год.
3. Aircraft Deicing: Then and Now // AviationPros : официальный сайт. 2022. URL: <https://www.aviationpros.com/gse/article/10375841/aircraft-deicing-then-and-now> (дата обращения 16.12.2022).
4. Airport Cooperative Research Program Report 99. Guidance for Treatment of Airport Stormwater Containing Deicers, 2013 (дата обращения 16.12.2022).
5. Очистка сточных вод от трудноокисляемых органических соединений // ООО НПО «АГРОСТРОЙСЕРВИС» : официальный сайт. – Дзержинск, 2022. URL: <https://acs-nnov.ru/ochystka-stochnih-vod-ot-organicheskikh-veshestv.html> (дата обращения 16.12.2022).
6. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. – НИИ ВОДГЕО, 2015. 146 с.

7. Отведение и очистка поверхностных сточных вод промпредприятий и аэродромов – ООО «НИЦ «ЭКОСТЕХ» : официальный сайт. – Новочеркасск, 2022. URL: <https://ecos-tech.ru/otvedenieiochistkapoverhnostnihvodaerodromov> (дата обращения 17.12.2022).
8. Очистка сточных вод аэропортов от этиленгликоля // ООО «НИЦ «ЭКОСТЕХ» : официальный сайт. – Новочеркасск, 2022. –URL: <https://ecos-tech.ru/etilenglikol> (дата обращения 17.12.2022).
9. Суворова Е. В., Микрюкова Е.М. Удаление этиленгликоля из сточных вод аэропорта, в том числе его регенерация // Выставка инноваций - 2021 (весенняя сессия) : Сборник материалов XXXI Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов и XL Научно-технической конференции молодежи АО «ИЭМЗ «Купол», Ижевск, 23 марта – 22 2021 года. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 2021. – С. 173-177.
10. Magomedova D. Sh., Alimirzayeva Z.M., Magomedova A.G., Isaev A.B., Kharlamova T.A. *ELECTROCHEMICAL TREATMENT OF AIRPORT RUNOFF WATER CONTAINING ETHYLENE GLYCOL* // *Kimya Problemleri*. 2022. T. 20. № 2. С. 109-115.
11. Жариков Г.А., Марченко А. И., Крайнова О. А. и др. Биотехнологическая очистка ливневых сточных вод аэродрома "Домодедово" от этиленгликоля и керосина // Международная научно-практическая конференция "биотехнология и качество жизни" : Материалы конференции, Москва, 18–20 марта 2014 года. – Москва: Закрытое акционерное общество "Экспо-биохим-технологии", 2014. – С. 416-418.
12. Кадревич А. А., Вильсон Е. В., Литвиненко В. А. Очистка поверхностных сточных вод аэропортов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. – № 8. – С. 49-56.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА НАНОФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ФУГАТА УСТАНОВОК ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ СТАНЦИЙ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Д.В. Спицов, Тет Зо Аунг, А.Г. Первов

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

Аннотация

Описаны эксперименты по очистке фугата (иловой воды) после обезвоживания осадка на Восточной станции водоподготовки. Показано, что применение мембранной установки позволяет получить очищенную воду и обеспечить эффективное снижение таких показателей, как ХПК, концентрация алюминия, окисляемость до норм ниже требований к питьевой воде. Представлены экспериментальные кривые, позволяющие проводить подбор мембран на каждой ступени и прогнозировать состав очищенной воды на каждой ступени очистки. Представлена технология не только очистки воды, но и утилизации концентрата мембранной установки, который направляется на вход в осадкоуплотнитель. По результатам обработки экспериментальных данных представлена балансовая схема процесса обезвоживания осадка с очисткой фугата на мембранной установке, в соответствии с которой все удаленные мембранами загрязнения выводятся вместе с осадком.

1. Состояние вопроса с обезвоживанием осадка

1.1. Очистка иловой воды (фугата) с применением флокуляции и коагуляции

Принципы очистки стоков при уплотнении и обезвоживании осадка представлены на рис. 1(а). Стоки от уплотнителя и сгустителя направляются в оборотную систему ВСВ (восточная станция водоподготовки). Стоки после конечной стадии центрифугирования (фугат) направляются в канализационную систему. Основная масса стоков образуется на стадии уплотнения и сгущения. Полученные на данных этапах стоки предполагается смешивать с промывной водой фильтров, подвергать реагентной обработке и направлять "в голову" сооружений, смешивая в сочетании 1: 3 с водой промывки фильтров.

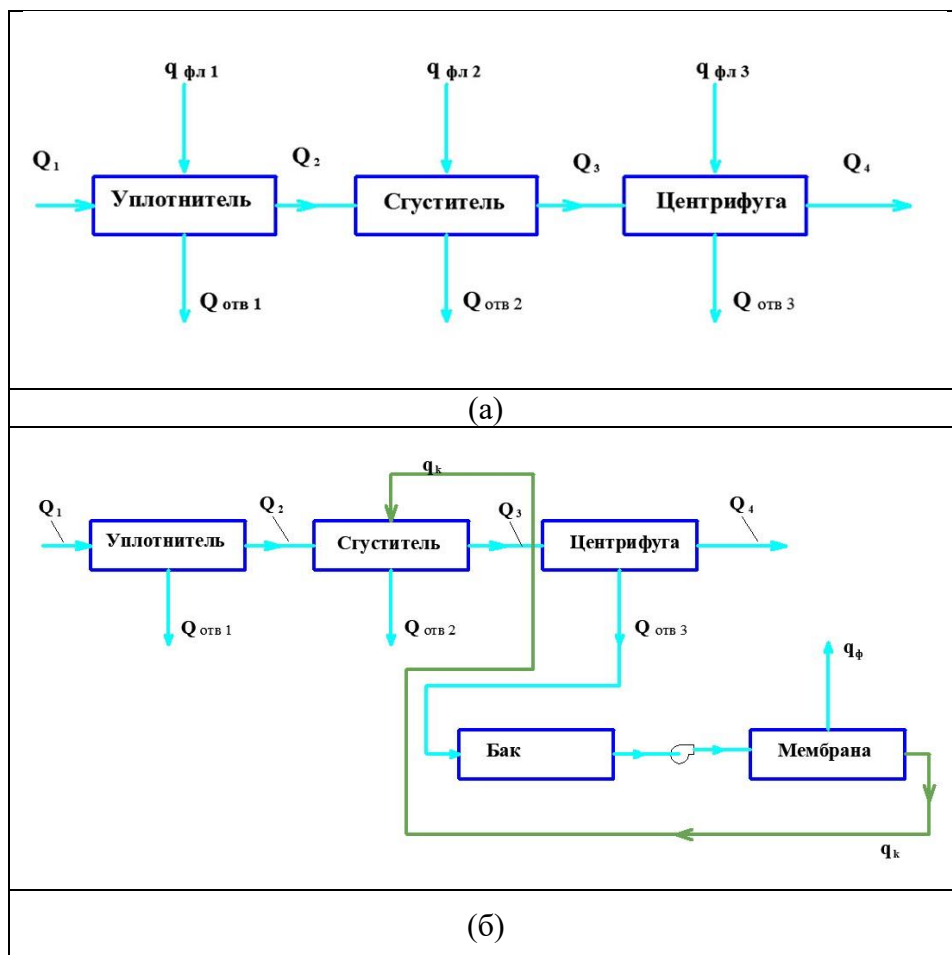


Рис. 1. Схема обработки осадка на Восточной станции (а) и предложенная схема обработки фугата (б) : Q_1 - объем исходного осадка из отстойников; Q_2 - объем обезвоженного осадка, подаваемого на сгуститель; Q_3 - объем сгущенного осадка, подаваемого на центрифугу; Q_4 - объем обезвоженного осадка; $Q_{отв 1}$ - объем отводимой надосадочной жидкости с этапа уплотнения; $Q_{отв 2}$ - объем отводимых стоков с этапа сгущения; $Q_{отв 3}$ - объем отводимого фугата с центрифуги; $q_{фл 1}$ - объем раствора флокулянта для уплотнения; $q_{фл 2}$ - объем раствора флокулянта для сгущения; $q_{фл 3}$ - объем раствора флокулянта для обезвоживания; $q_{ф}$ - расход пермеата мембранной установки; $q_{к}$ - расход концентрата мембранной установки.

1.2 Метод нанофильтрации

Целью настоящей работы было исследование возможности применения мембранных технологий для очистки фугата и утилизации концентрата мембранной установки. Применение мембранных технологий обратного осмоса для очистки природных и сточных вод ведется на протяжении последних 40 лет [1]. За последние годы возрос интерес к нанофильтрации как к методу подготовки питьевой воды из поверхностных водоисточников [2 -5] , благодаря высокой эффективности задержания этими мембранами органических веществ, образующих цветность воды [6,7]. Благодаря "универсальности" мембран в задержании органических веществ различной природы и молекулярного веса, обратноосмотические и нанофильтрационные мембраны уже широко применяются в процессах доочистки бытовых сточных вод для целей их повторного использования [1-7]. Кроме того, благодаря различной селективности мембран (эффективности задержания) по одновалентным и многовалентным ионам, а также органических веществ, в процессах очистки производственных сточных вод используется разделение растворов и выделение из растворов различных компонентов [6 - 22]. И, наконец, благодаря разработке нанофильтрационных мембран оказалось возможным глубокое многократное концентрирование сбросных рассолов, эффлюентов и

концентратов для целей их дальнейшей утилизации [18-20]. В частности, имеется много информации по применению нанофильтрации для очистки фугатов после обезвоживания минерализованных осадков природных и сточных вод [8 - 19]. Авторами настоящей статьи уже проводились исследования в НОЦ МГСУ на базе кафедры ВиВ по применению процессов обратного осмоса и нанофильтрации не только для очистки фугатов (иловых вод) обезвоживания осадков сточных вод и очистки фильтратов полигонов ТБО [23], но и для утилизации концентратов мембранных установок и удаления всех задержанных мембранами загрязнений вместе с обезвоженным осадком [24,25]. Новая разработка заключается (рис. 1,б) в применении мембранной установки для очистки фугата и гарантированного получения очищенной воды высокого качества. Концентрат мембранной установки возвращается в бак.

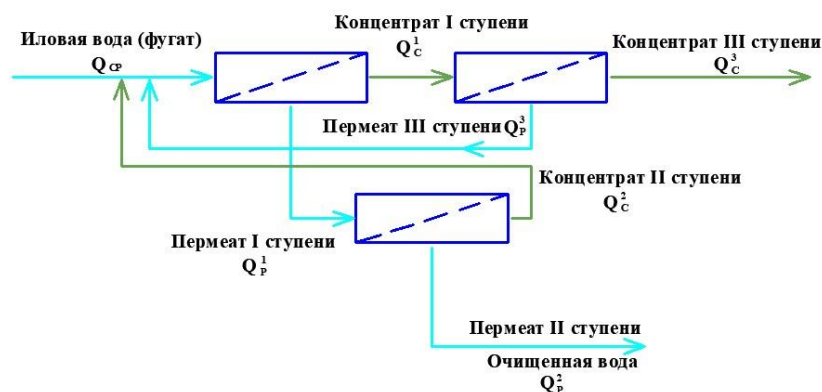


Рис. 2. Схема подключения мембранных аппаратов и направления основных потоков пермеатов и концентратов

Установка на основе мембран обратного осмоса и нанофильтрации (рис.2) для очистки фугата после обезвоживания осадка на центрифуге работает по двухступенчатой схеме [23,24]. На рис. 2 показана схема подключения мембранных аппаратов и направления основных потоков пермеатов и концентратов. Каскадное подключение нанофильтрационных аппаратов на первой ступени позволяет добиться высоких значений кратности концентрирования K мембранной установкой и минимального значения расхода концентрата [25]. Применение мембранных аппаратов обратного осмоса на второй ступени очистки позволяет сократить концентрацию органических веществ в обрабатываемой на второй ступени воде и повысить производительность по очищенной воде [23].

2. Экспериментальная часть: материалы и оборудование

Цель экспериментов: исследование очистки фугата и получение чистой воды и концентрата, содержащего все удаленные загрязнения.

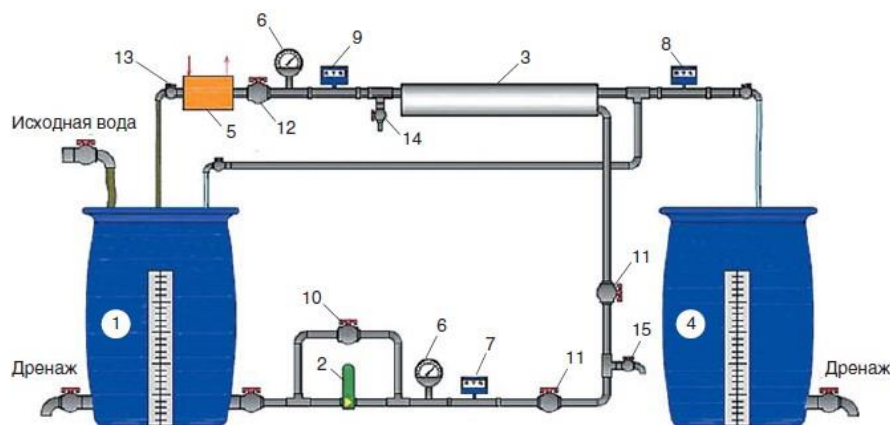


Рис. 3. Экспериментальная установка для определения параметров работы мембран при разделении фильтрата ТКО

1 – бак исходной воды; 2 – насос; 3 – мембранный элемент в напорном корпусе; 4 – бак фильтрата; 5 – теплообменник; 6 – манометр; 7–9 – расходомеры; 10 – кран байпаса; 11 – вентиль регулировки расхода исходной воды; 12 – вентиль регулировки рабочего давления и расхода концентрата; 13 – кран регулировки расхода охлаждающей воды; 14, 15 – пробоотборники

Экспериментальная установка представлена на рис 3. Объемы воды (фугата и пермеата) составляли по 20 литров. Исходная вода помещалась в бак исходной воды 1, откуда насосом 2 подавалась в мембранный аппарат 3, в котором разделялась на пермеат (очищенную воду) и концентрат. Концентрат возвращался в бак 1, а пермеат направлялся в бак 4. Использовался роторный насос Procon составлял 180-200 литров в час при давлении 16 Бар. Эксперименты проводились с использованием серийных мембранных элементов стандарта 1812 модели производства корейской компании CSM с обратноосмотическими мембранами модели BLN (значением селективности по солям 95-96 %) и нанофильтрационными элементами модели с мембранами типа 70 NE селективностью 70%). Площадь мембран в мембранном аппарате модели 1812 составляла 0,5 квадратного метра. По мере накопления пермеата в баке 4 объем исходной воды в баке 1 уменьшался, при этом концентрации загрязнений - растворенных солей и органических веществ, обобщенно оцениваемыми показателем ХПК - повышались, а производительность мембранного аппарата по очищенной воде снижалась. Проведение экспериментов позволило определить эффективности задержания мембранами различных загрязнений и производительность мембран для разработки установки. Эксперименты состояли в работе экспериментальной установки в циркуляционном режиме, при котором моделировались работы мембранных аппаратов на первой и на второй ступени (Рис.3). При этом определялись показатели селективностей мембран по различным загрязнениям и производительности мембран в зависимости от величины выхода фильтрата установки на каждой ступени (отношения расхода пермеата к расходу исходной воды, поступающей в мембранные аппараты Q_p/Q_i). В процессе экспериментов определялись зависимости эффективности очистки воды по различным загрязнениям от величины К, которая представляет собой отношение объема исходной воды к объему концентрата в баке в конце эксперимента и названа коэффициентом концентрирования или коэффициентом уменьшения объема исходной воды в мембранной установке. Величина К соответствует показателю величины выхода пермеата установки, которая равна отношению расхода пермеата к расходу исходной воды Q_p/ Q_i , соотношением: $Q_p/ Q_i = 1-1/K$. На первой стадии экспериментов моделировалась работа аппаратов первой ступени мембранной установки (рис.2), при этом в процессе эксперимента объем исходной воды снижался с 20 л до 0,5 л. На второй ступени пермеат первой ступени (объемом 16 л) помещался в

бак 1 и эксперимент повторялся. На второй ступени использовался мембранный аппарат с низконапорными обратноосмотическими мембранами.

3. Результаты экспериментов

Результаты экспериментов представлены в Таблицу 1 и на рис. 4,5. показаны концентрации загрязнений, а также зависимости селективности (рис.6) от K , позволяющие вести расчет установок. На рис. 7 показано изменение производительности нанофильтрационных и обратноосмотических мембран мембран в течение эксперимента в зависимости от величины K .

Таблица 1. Результаты определения концентраций различных загрязнений в исходной воде, пермеатах и концентратах мембран на разных ступенях очистки.

№	Показатели (Растворы)	ХПК, мг/л	Al ³⁺ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl-, мг/л	Окисляемость, мг/л
1	Исходный фугат	158	8	75	90	21
2	Пермеат I ступени	19,8	0,42	9,0	65	6,7
3	Пермеат II ступени	13,5	0,016	0,475	9,7	3,1
4	Концентрат	650	18,1	702	480	49

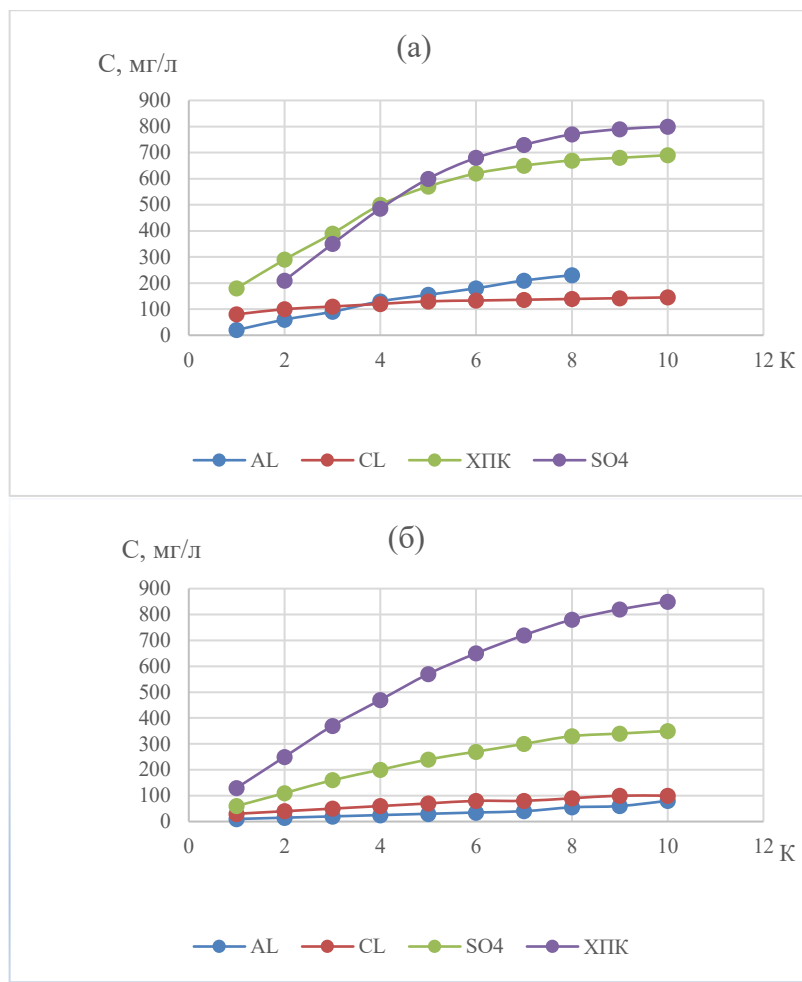


Рис. 4. Зависимости концентраций ионов алюминия, кальция, хлоридов и сульфатов, а также значений ХПК от К в концентрате (а) и пермеате (б) первой ступени установки с нанофильтрационными мембранами

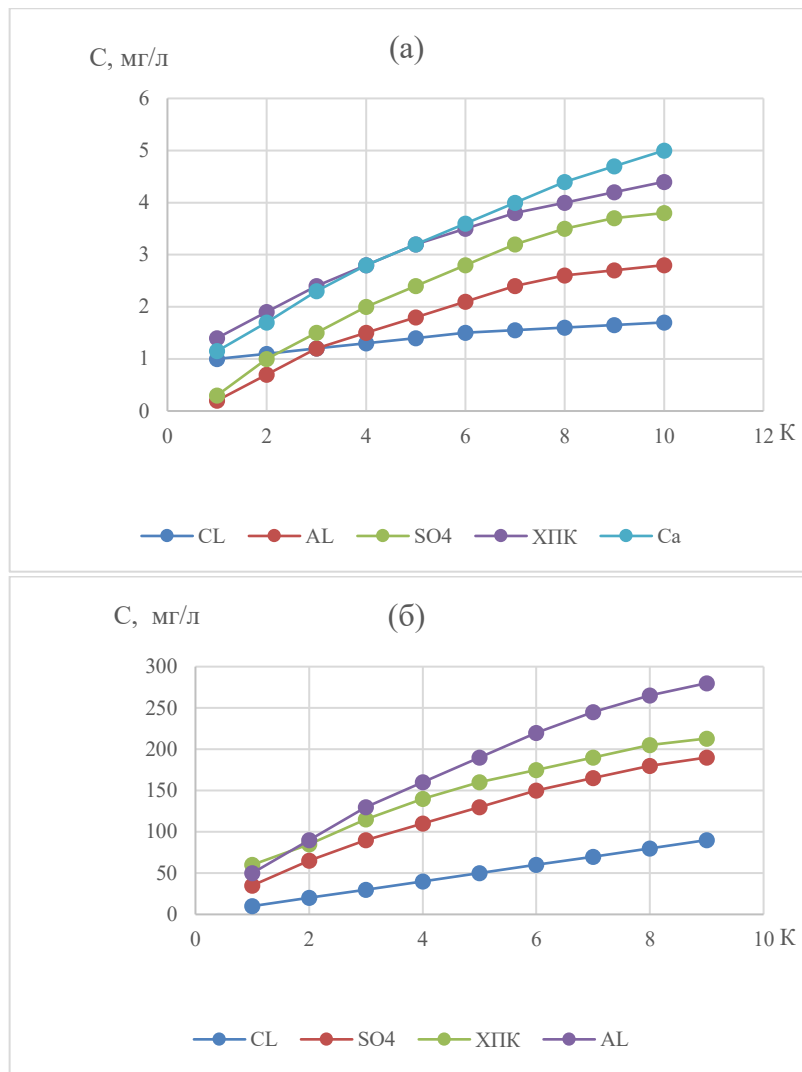


Рис. 5. Зависимости концентраций ионов алюминия, кальция, хлоридов, сульфатов, а также значений ХПК от значения К в пермеате (а) и концентрате (б) второй ступени мембранной установки с обратноосмотическими мембранами

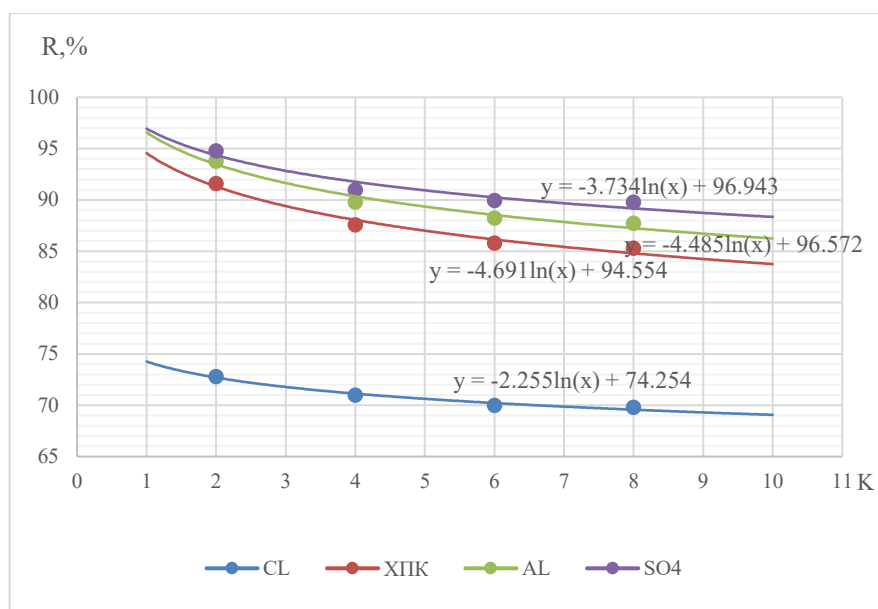


Рис. 6. Зависимости величины селективности R по ионам алюминия, хлорид-ионам, сульфат-ионам и по величине ХПК от K

В зависимости от состава фугата можно определить качество очищенной воды.

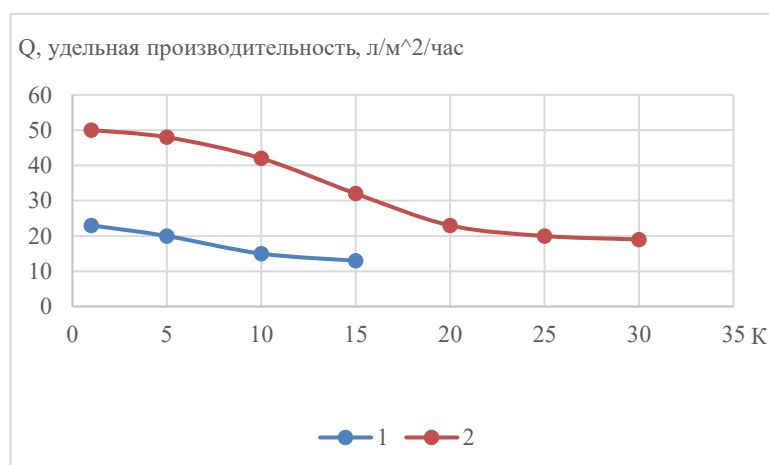


Рис. 7. Изменение величины удельной производительности нанофильтрационных и обратноосмотических мембран в процессе эксперимента в зависимости от K

На основании полученных результатов могут быть определены типы мембран и параметры установки. Обработка результатов позволила определить зависимости селективностей мембран по различным ионам и загрязнениям. Как видно из рис.6, зависимости величины селективности мембраны 70 NE от величины K имеет вид натуральной логарифмической функции, что облегчает расчеты по прогнозу качества очищенной воды разных на ступенях очистки [25]. Составленная по результатам эксперимента балансовая схема процесса представлена на рис. 9. На основании балансового расчета определены требуемый расход фильтрата и концентрата установки, а также концентрация солей в концентрате установки, возвращаемому в приемный резервуар уплотнителя осадка при величине выхода фильтрата установки 0,95. Очищенная вода может быть добавлена в очищенную питьевую воду или использоваться в качестве технической воды (в котельных и т.д.). Предварительные технико-экономические расчеты показывают, что для случая применения разработанной мембранной установки в цехе обезвоживания осадка Восточной станции водоподготовки и расхода фугата 20 куб.м в час, применение разработанной технологии при стоимости 200000 руб. /куб.м в час позволяет полностью утилизировать сточные воды

водопроводной станции и получить высокий экономический эффект по сравнению со сбросом фугата в горканализацию.

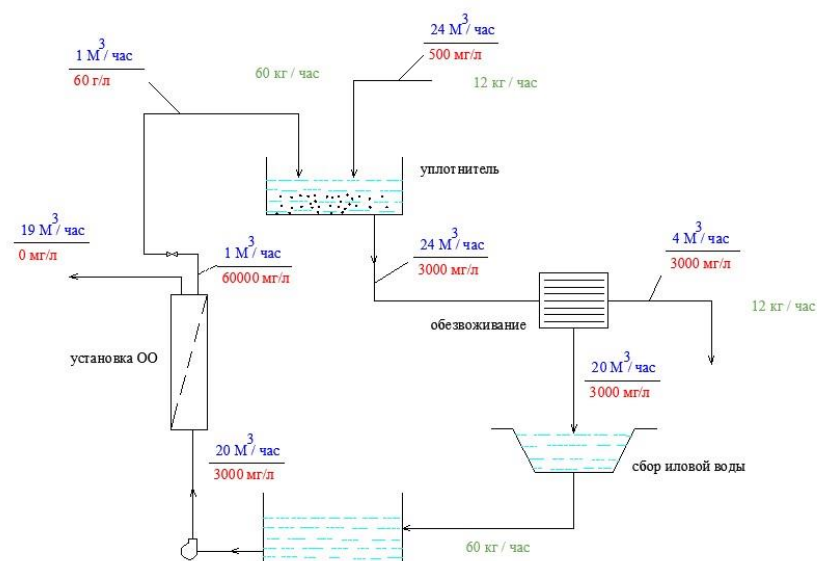


Рис. 8. Балансовая схема обработки осадка и очистки фугата

ВЫВОДЫ

1. Предложена технология, позволяющая получить стабильный эффект очистки, несмотря на колебания показателей ХПК, окисляемости, алюминия.
2. Для очистки фугата после обезвоживания осадка методом обратного осмоса может быть эффективно применена двухступенчатая схема для достижения эффекта очистки.
3. Анализ стоимости сброса в канализацию показывает, что применение технологии очистки окупается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wilf M. The guidebook to membrane for wastewater reclamation. Balaban Desalination Publishing, 2010, 788 p.
2. Yinping Zheng , Sanchuan Yu , Shi Shuai , Qing Zhou , Qibo Cheng , Meihong Liu , Congjie Gao . Color removal and COD reduction of biologically treated textile effluent through submerged filtration using hollow fiber nanofiltration membrane. Desalination, 2013, v.314, pp. 89-95.
3. B.M.Watson, C.D.Hornburg. Low-energy membrane nanofiltration for removal of color, organics and hardness from drinking water supplies. Desalination, 1989, v.72, pp. 11-22.
4. Cristiane N.Lopes, José Carlos C.Petrus, Humberto G. Riella . Color and COD retention by nanofiltration membranes. Desalination, 2005, v.172, Issue 1, pp. 77-83.
5. Rosa Maria Ribeiro, Rosângela Bergamasco, Marcelino Luiz Gimenes. Membranes synthesis study for colour removal of a textile effluent. Desalination, 2002, v.145, Issue 1-3, pp. 61-63.
6. I.KoyuncuF.YalcinI.Ozturk. Color removal of high strength paper and fermentation industry effluents with membrane technology. Water Science and Technology, 1999, V. 40, Issues 11–12, pp. 241-248.
7. C.A.Quist-Jensen, J.M.Sørensen, A.Svenstrup, L.Scarpa, T.S.Carlsen, H.C.Jensen, L.Wybrandt, M.L.Christensen. Membrane crystallization for phosphorus recovery and ammonia stripping from reject water from sludge dewatering process. Desalination. 2018, V. 440, pp. 156-160.
8. Jouni Havukainen, Ali Saud, Thomas Fruergaard Astrup, Petteri Peltola, Mika Horttanainen. Environmental performance of dewatered sewage sludge digestate utilization based on life cycle assessment. Waste Management, 2022, V. 137, pp. 210-221.
9. Roscoe F.Ward, Billy Huston. Wastewater sludge dewatering for Champion-Hamilton treatment facility. Water Science and Technology, 1999, V. 40, Issues 11–12, pp. 155-162.
10. Claire Gourdet, Romain Girault, Sarah Berthault, Marion Richard, Julian Tosoni, Marilys Pradel. In quest of environmental hotspots of sewage sludge treatment combining anaerobic digestion and mechanical dewatering: A life cycle assessment approach. Journal of Cleaner Production, 2017, V.143, pp.1123-1136.
11. Dalong Hu, Zhen Zhou, Tianhao Niu, Haijuan Wei, Weixiao Dou, Lu-Man Jiang , Yan Lv. Co-treatment of reject water from sludge dewatering and supernatant from sludge lime stabilization process for nutrient removal: A cost-effective approach. Separation and Purification Technology, 2016, V.172, pp. 357-365.

12. Daria Podstawczyk, Anna Witek-Krowiaka, Anna Dawiec-Liśniewska, Przemysław Chrobot, Dawid Skrzypczak. Removal of ammonium and orthophosphates from reject water generated during dewatering of digested sewage sludge in municipal wastewater treatment plant using adsorption and membrane contactor system. *Journal of Cleaner Production*, 2017, V. 161, pp. 277-287.
13. Katarzyna KołECKa, Magdalena Gajewska, Hanna Obarska-Pempkowiak, Dariusz Rohde. Integrated dewatering and stabilization system as an environmentally friendly technology in sewage sludge management in Poland. *Ecological Engineering*, 2017, V.98, pp.346-353.
14. Veera Koskue, Stefano Freguia, Pablo Ledezma, Marika Kokko. Efficient nitrogen removal and recovery from real digested sewage sludge reject water through electroconcentration. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, V. 9, Issue 5.
15. Xavier Flores-Alsina, Elham Ramin, David Ikumi, Theo Harding, Damien Batstone, Chris Brouckaert, Sven Sotemann, Krist V.Gernaey. Assessment of sludge management strategies in wastewater treatment systems using a plant-wide approach. *Water Research*, 2021, V.190.
16. Dong Xu, Jun Liu, Ting Ma, Yongqing Gao, Shujun Zhang, Jun Li. Rapid granulation of aerobic sludge in a continuous-flow reactor with a two-zone sedimentation tank by the addition of dewatered sludge. *Journal of Water Process Engineering*, 2021, V. 41.
17. Wan-JunDuan, Jing-Feng Gao, Wen-Zhi Zhang, Yu-Wei Wang, Jie Liu. Elimination of antibiotic resistance genes in waste activated sludge by persulfate treatment during the process of sludge dewatering. *Bioresource Technology*, 2020, V. 311.
18. Maria Elisa Magri, Joceli Gorrezen Zaguini Francisco, Pablo Heleno Sezerino, Luiz Sérgio Philippi. Constructed wetlands for sludge dewatering with high solids loading rate and effluent recirculation: Characteristics of effluent produced and accumulated sludge. *Ecological Engineering*, 2016, V.95, pp.316-323.
19. S.V.Jadhav, S.S.Haramkar, A.R.Kamble, B.N.Thorat. Insights into dewatering and characterization of the waste activated sludge. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical*, 2019, V.94, pp.81-87.
20. Samuel Bunani, ErenYörükoğlu, Gökhan Sert, Ümran Yüksel, MithatYüksel, Nalan Kabay. Application of nanofiltration for reuse of municipal wastewater and quality analysis of product water. *Desalination*, 2013, V. 315, pp. 33-36.
21. S.T.Nguyen, F.A.Roddick. Pre-treatments for removing colour from secondary effluent: Effectiveness and influence on membrane fouling in subsequent microfiltration. *Separation and Purification Technology*, 2013, V.103, pp.313-320.
22. Maria Cristina Collivignarelli, Alessandro Abbà, Marco Carnevale Miino, Silvestro Damiania. Treatments for color removal from wastewater: State of the art. *Journal of Environmental Management*, 2019, V.236, pp.727-745.
23. Pervov A.G., Shirkova T.N., Tikhonov V.A. Design of reverse osmosis and nanofiltration membrane facilities to treat landfill leachates and increase recoveries. *Membranes and Membrane Technologies*, 2020, v. 2, no 5, pp.296-309.
24. Первов А.Г., Ширкова Т.Н., Спицов Д.В. Экономические аспекты очистки фильтратов полигонов хранения твердых коммунальных отходов с применением мембран // Вестник МГСУ. 2021.№6.С. 698-719.
25. Первов А.Г. , Ширкова Т.Н. Сокращение расходов концентратов установок обратного осмоса , используемых для очистки сточных вод, содержащих органические загрязнения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. № 4 (132). С.36-50.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНОЙ ВОДЫ В ОБОРОТНЫХ ЦИКЛАХ ВАКУУМ-НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Е.Л. Головатенко, В.А. Маркин

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 286123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, д.2,

Аннотация

Направлением исследования является изучение экологической обстановки в районе работы горного предприятия и степени влияния сброса шахтных вод на состояние экосистемы для разработки способов улучшения этой обстановки и снижения вредного влияния на окружающую среду, а также рацион ального использования природных ресурсов. В статье проанализировать объемы образования шахтных вод, приведен качественный и количественный состав шахтных вод, дана оценка воздействия шахтных вод на окружающую среду; проанализировать направления использования шахтных вод для технических нужд. Описана работа вакуум-насосных установок при дегазации угольных пластов. Установлены параметры, снижающие производительность вакуум-насосов.

Целью данной работы является выбор и обоснование малоотходной технологии очистки и повторного использования шахтных вод для собственных нужд для снижения техногенного воздействия горного предприятия на окружающую среду.

ВВЕДЕНИЕ

Рациональное использование природных ресурсов, охрана окружающей среды, соблюдение норм и правил экологической безопасности имеют важное значение в условиях разработки угольных месторождений. Донбасс, являясь крупнейшим угольным бассейном нашей страны, характеризуется огромным промышленным потенциалом. При разработке угольных месторождений сталкиваются с таким отрицательным явлением, как образование шахтных вод.

В настоящее время в Донбассе из всех отраслей промышленности наибольшую техногенную нагрузку на окружающую среду создает угледобывающая отрасль. Угледобыча является одной из наиболее экологически опасных направлений отрасли, оказывающей воздействие на все компоненты окружающей среды.

Качественное состояние многих природных водоемов в настоящее время оценивается специалистами, как неблагоприятное, ввиду их высокой подверженности антропогенному влиянию, приводящему к дальнейшему снижению их ассимилирующей способности. Основными источниками загрязнения водных объектов, которые ухудшают качество вод и нарушают нормальные условия жизнедеятельности гидробионтов, являются сбросы промышленных сточных вод.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пресная вода становится все более дефицитным ресурсом, её дефицит может существенно сдерживать экономический рост государства, а с учетом трансграничности водных ресурсов многих стран, водный дефицит может стать причиной экономических, и как следствие, политических конфликтов. Угольная промышленность объединяет горнодобывающие и перерабатывающие предприятия - шахты и резервы, обогатительные и брикетные фабрики, а также машиностроительные и ремонтные заводы, предприятия стройиндустрии и промышленного транспорта.

Каждое предприятие в результате своей деятельности образует сточные воды, объем, состав и свойства которых зависят в основном от выпускаемой продукции и принятых технологических процессов. Шахтные воды являются одной из наиболее распространенных в Донбассе разновидностью сточных вод. В таблице 1 представлены

объемы сброса шахтных вод по категориям качества: без очистки, недостаточно очищенные, нормативно чистые, без очистки, нормативно очищенные на очистных сооружениях [1].

Таблица 1. Динамика сброса оборотных вод млн. м³

Показатели	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год
Сброшено оборотных вод, всего	1417	1313	908,3	845,9	821,9
в том числе:					
в подземные горизонты	-	-	-	-	-
в накопители и на поля фильтрации	2,952	2,868	2,7	2,5	0,5
в поверхностные водные объекты	1414	1310	905,5	843,4	821,4
Сброшено оборотных вод в поверхностные водные объекты					
всего	1414	1310	905,5	843,4	821,4
из них:					
нормативно очищенных, всего в том числе:	192,8	218,1	99,7	99,3	104,2
на сооружениях биологической очистки	140,0	144,7	61,38	56,91	51,58
на сооружениях физико-химического очищения	0,317	0,312	0,154	0,098	0,054
на сооружениях механического очищения	52,53	73,07	37,72	42,27	52,61
нормативно (условно) чистых без очищения	663,7	583,7	518,3	408,5	444,9
загрязненных, всего	557,7	506,7	295,8	263,7	180,2
в том числе:					
недостаточно очищенных	546,2	495,6	289,7	255,4	176,1
без очищения	11,53	10,79	6,052	8,292	4,051

Рассматривая направление использования шахтных (карьерных) вод, можно выделить предприятия, которые постоянно нуждаются в больших объемах воды и находятся в непосредственной близости от горных предприятий. Следует отметить, что сама угольная шахта является крупным потребителем воды [2].

Использование шахтных вод для технического водоснабжения угольных предприятий осуществляют по следующим основным технологическим направлениям:

- обогащение угля мокрым способом;
- пылеподавление, орошение и увлажнение угля;
- дегазация угольных пластов;
- кондиционирование воздуха;
- котельные установки;
- выработка сжатого воздуха;
- охлаждения технологического оборудования;
- другие производственные нужды (профилактика породных отвалов, гидрозолоудаление, тушения шлака, гидросмыв просыпей, борьба с пылью на автодорогах и промплощадках, другие технические нужды).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ технологических направлений использования шахтных вод показал, что наиболее крупными потребителями воды с оборотными циклами является дегазационные системы. Качества технической воды, используемой для дегазационных установок должно соответствовать требованиям технических условий технического процесса и приниматься в соответствии с СанПиН 2.1.5.980-00, СанПиН 2.1.4.1074-01 и СанПиН 2.2.4-171-10. Оборотные системы водопользования широко применяются в различных отраслях промышленности. Главными проблемами эксплуатации этих систем являются процессы накипеобразования на рабочих поверхностях и коррозия оборудования [3].

Шахтные воды загрязнены взвешенными дисперсными частицами угля и породы. Учитывая то, что уголь менее твердый по сравнению с пустой породой, то в откачиваемой шахтной воде доля частиц угля больше, чем частиц породы. Происходит своеобразная первая ступень обогащения угля. Возникает необходимость удалить эти частицы угля из шахтной воды. Химический состав шахтных вод приведен в таблице 2 [4].

Таблица 2. Химический состав шахтных вод

Наименование предприятия (шахты)	Содержание в сточных водах ионов металлов, мг/дм ³							Жесткость, мг·эquiv/дм ³	Щелочность, мг·эquiv/дм ³
	Калий	Натрий	Кальций	Магний	Хлориды	Сульфаты	Сухой остаток		
СП «Шахта «Ольховатская»	0,2	175	116	92	74	753	1480	13,4	3,8
ЛШ «Миусская»	2,8	364	92	78	74	641	1575	10,7	10,7
ОП «Шахта им. XVII партсъезда»	1,8	360	146	74	141	792	1608	13,3	7,9
ЛШ «Шахта «Лесная»	2,2	523	42	86	264	660	1750	9,1	9,9
ЛШ «Шахта «Зуевская»	2,7	484	93	61	142	887	1864	9,6	7,4
ОП «Шахта «Чайкино»	0,1	55	78	10	14	373	2000	6,7	13,1
ОП «Ясиновская-Глубокая»	2,0	736	41	39	265	543	2060	5,3	14,6
ОП «Шахта «Северная»	23	168	78	55	101	269	2065	8,2	5,6
Шахта «Комсомолец Донбасса»	2,2	841	14,3	4,3	486	148	2092	1,1	19,0
ОП «Шахта«Шахтерская Глубокая»	8,0	1200	85	77	1100	960	2100	10,6	10,2
ОП «Шахта Прогресс»	2,2	760	16	22	194	709	2212	2,6	18,0
ОП «Шахта «Калиновская-Восточная»	4,0	724	52	31	280	588	2220	5,2	8,2
ОП «Холодная Балка»	2,8	672	132	75	240	1190	2535	12,7	10,6
ЛШ им. М. Горького	4,2	620	146	121	345	1033	2938	27,1	13,2
ЛШ «Шахта «Лидиевка»	8,7	548	184	141	311	1400	3027	20,8	6,9
ЛШ«Шахта «Куйбышевская»	9,7	394	212	167	303	1278	3090	24,3	11,8

Работа водокольцевых вакуум-насосов сопровождается увеличением температуры воды и отложением на внутренних поверхностях солей кальция, магния и железа. Загрязнение поверхности накипью снижает эффективность работы насоса, требует периодической остановки его для проведения трудоемкой очистки и создает опасность аварийной остановки, вызванной заклиниванием рабочего колеса. Установлено, что на процесс накипобразования влияет несколько факторов:

- время работы установки; они работают 24 часа в сутки
- качество используемой воды;
- температурный режим; температура воды в ВНС составляет около 40 градусов;
- режим работы; вакуум или давление;
- состав транспортируемой газовой смеси также способствует коррозии трубопроводов и непосредственно вакуум – насосной установки [5].

При использовании шахтных вод в качестве рабочей жидкости в вакуум-насосах следует учитывать два ограничения: минерализацию воды и карбонатный индекс. Следует учитывать также, что с одной стороны температура сетевой воды существенно больше, что интенсифицирует коррозионные процессы, а с другой стороны подпиточная вода проходит стадию деаэрации, что снижает интенсивность кислородной коррозии. Основной составляющей накипи является карбонат кальция,

интенсивность кристаллизации которого зависит от карбонатного индекса – произведения концентрации ионов кальция и гидрокарбонатов [6].

Многообразие химических процессов, происходящих в циркуляционной системе, затрудняет оценку кинетических характеристик, определяющих скорость выпадения карбоната кальция. Образование зародышей кристаллов зависит от типа поверхности, на которой происходит кристаллизация. Согласно М. Фольмеру, процесс образования твердой фазы в основном зависит от типа стенки или физического состояния поверхности раздела. При этом энергия образования зародыша кристалла определяется соотношением (1):

$$A = 1/3 \pi r^2 \sigma [2(1 - \cos \theta) - \sin^2 \theta \cdot \cos \theta], \quad (1)$$

где A – энергия образования зародыша кристалла на стенке, Н·м;

r – размер частиц

кристаллов, м;

σ – поверхностная энергия грани кристалла, Н/м;

θ – краевой угол смачивания, град. [7].

ВЫВОДЫ

Для предотвращения отложений рабочих поверхностях вакуум-насосов можно предложить несколько направлений:

- умягчение воды в натрий - катионитных фильтрах. Это направление сопряжено с опасностью каустической хрупкости и ухудшение экологической ситуации в результате сброса засоленных стоков.
- применение присадки фосфоновых кислот. Это направление сопряжено со сбросом экологически опасных продуктов в окружающую среду.
- применение подкисления воды. Это направление сопряжено с опасностью возникновения коррозионных процессов.

Применение таких направлений для очистки шахтной воды необходимо рассматривать для каждой шахты индивидуально, так как химический состав шахтных вод на каждой отдельной шахте различен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головатенко, Е.Л. Экологическая безопасность водных объектов донецкого региона / Е.Л. Головатенко, В.А. Максимов // «Природопользование и безопасность жизнедеятельности»: сборник докладов студенческой конференции /ред. Д.А. Макеева, Д.А. Козырь – Донецк: ДОННТУ, 2022. – С. 69-71
2. Матлак, Е.С., Снижение загрязненности шахтных вод в подземных условиях [Текст] / Е.С.Матлак, В.Б. Малеев– К.: «Техника». - 1991. – 136 с.
3. СанПиН 2.2.4-171-10 «Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком» - Введен 2010- 05-12.— URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> [Text] (дата обращения: 17.12.2022).
4. Гулько, С.Е. Опыт и перспективы использования шахтной воды [Текст] / С.Е. Гулько, И.И. Гомаль // Уголь Украины. – 2013. – № 6. – С. 30-34.
5. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. СОУ 10.1.00174088.001-2004. /Стандарт Минтопэнерго Украины/ - Макеевка. - 2004. – 161 с.
6. Гулько, С.Е. Особенности использования шахтных вод в оборотных циклах промышленных предприятий / С.Е. Гулько // Вестник Луганского национального университета им. В. Даля. Возрождение, экология, ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий Донбасса: традиции и инновации. – 2017. – ч. 2. – №3 (5). – С. 177-179.
7. Высоцкий, С. П. Очистка, кондиционирование и использование вод повышенной минерализации [Текст] / Высоцкий, С. П., Гулько, С. Е. // Монография/ – Донецк: «Каштан». - 2014. – 316 с.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ КРИОГЕННОГО УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕРОДА

О.А. Ларсен¹, В.К. Веселов², В.П. Васютин³, В.А. Швецова⁴, Ю.И. Марков⁵
1,2,3,4,5 ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹larsen.oksana@mail.ru

²distveselov@mail.ru

³vasyutin365559@yandex.ru

⁴wishhuma@mail.ru

⁵MarkovYUI@mgsu.ru

Аннотация

С каждым годом увеличиваются общемировые выбросы CO₂. По данным Росстата за 2019 год больше всего выбросов приходится на сектор энергетики (1682,3 млн.тонн CO₂-эквивалента в год), затем следует сектор «Промышленные процессы и использование промышленной продукции» (233,6 млн.тонн CO₂-эквивалента в год). В 2020 году выбросы несколько снизились из-за пандемии, однако тенденция остается восходящей. В процессе производства цемента образуется углекислый газ, который составляет примерно 5 % от общемировых выбросов газа [1]. Одним из потенциальных решений по сокращению выбросов углекислого газа промышленными источниками является улавливание и хранение углерода. Криогенный метод улавливания углерода (cryogenic carbon capture method - CCC) выделяется среди различных технологий улавливания CO₂ благодаря высокому коэффициенту извлечения CO₂ и уровню его чистоты. В этом обзоре рассматриваются различные методы CCC, их преимущества и недостатки, сдерживающие их коммерциализацию. Приведена оценка отдельных возможных применений CCC в малых и крупномасштабных установках, включая производство голубого водорода и прямое улавливание воздуха. В данной статье рассмотрена технологическая готовность предприятий к внедрению CCC, проведен анализ конкурирующих технологий и предоставлена некоторая информация о будущих направлениях, связанных с исследованиями и разработками для систем CCC.

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывный поиск путей экономического роста приводит к истощению природных ресурсов, ухудшению качества воздуха и способствует изменению климата. Эти последствия, наконец, были восприняты всерьез, что привело к новым целям по снижению антропогенного воздействия на планету. Достижение чистого нулевого уровня выбросов, установленного Великобританией, Францией, Данией и Новой Зеландией к 2050 году, а в Швеции - к 2045 году, потребует использования методов улавливания, утилизации и хранения углерода больше, чем когда-либо. Это было подтверждено в недавнем плане правительства Великобритании по зеленой промышленной революции, цель которой - улавливать 10 млн. тонн углекислого газа в год к 2030 году [1].

Улавливание углерода сосредоточено на давно известных технологиях, таких как химическая абсорбция с использованием растворителей на основе аминов, но большие объемы используемого растворителя требуют значительной тепловой энергии для регенерации. Этот недостаток способствует проведению исследований в области новых технологий, включая мембраны, кальциевые петли, катализируемые сорбенты, улавливание на основе водорослей, прямое улавливание воздуха и сжижение и т. п. Большинство из этих технологий сталкиваются с различными технологическими проблемами и находятся на разных уровнях технологической готовности. Низкотемпературные технологии улавливания CO₂, часто называемые криогенным улавливанием углерода или просто криогеникой, основаны на изменении фазы, таким образом отделяя CO₂ от газа в виде жидкости или твердого вещества. В общем смысле

криогеникой называется раздел физики низких температур, который изучает процессы, происходящие при температурах ниже 120 К (-153.15 °С), например, конденсацию азота и кислорода.

Метод криогенного улавливания углекислого газа [2] позволяет получать продукт высокой чистоты, устраняет необходимость в токсичных химических веществах и может применяться в широком диапазоне концентраций CO₂. Ограничивают применение данного метода его высокая энергоемкость и ограниченный диапазон потенциальных областей для применения. Таким образом, целью данной работы является критическая оценка различных криогенных технических вариантов улавливания углерода и, в частности, представление его потенциальных мелкомасштабных и крупномасштабных применений с целью разработки рекомендаций и будущих направлений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данном разделе описываются процесс организации эксперимента, примененные методики, использованная аппаратура; даются подробные сведения об объекте исследования; указывается последовательность выполнения исследования и обосновывается выбор используемых методов (наблюдение, тестирование, эксперимент, лабораторный опыт, анализ, моделирование, изучение и обобщение и т. д.).

В этом исследовании рассматриваются достижения и возможности, которые предлагает технология криогенного улавливания углерода для снижения выбросов CO₂, а также ее потенциальные применения, если технология достигнет стадии коммерциализации.

На рисунке 1 представлены существующие методы криогенного улавливания углерода.

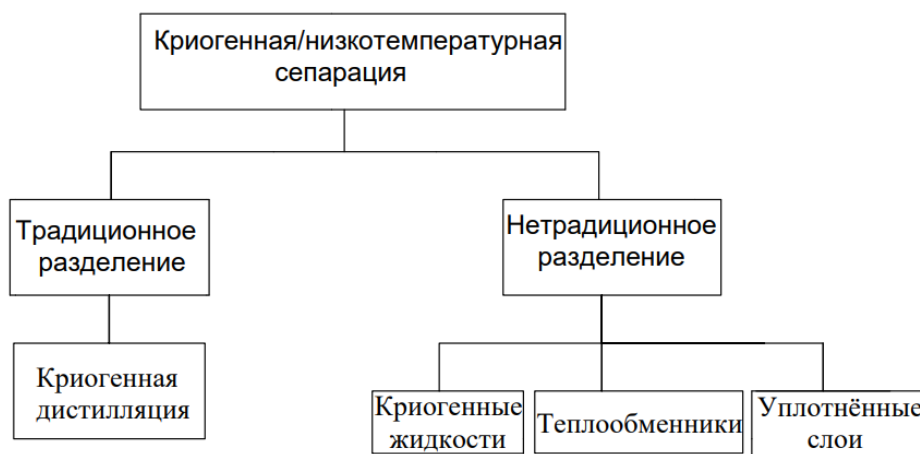


Рис. 1. Методы криогенного улавливания углерода

Рассмотрим подробнее каждый из представленных методов.

1. Криогенная дистилляция - это хорошо зарекомендовавшая себя технология, которая обеспечивает разделение на основе различных температур кипения CO₂ и газовых компонентов в смеси. Этот метод был использован для очистки природного газа, где CO₂ удаляется в жидкой фазе [3]. Однако, этот метод является достаточно энергоемким из-за необходимости использовать высокого давления и требования избегать образования твердых частиц для защиты оборудования и предотвращения засорения. Чтобы избежать затвердевания CO₂, экстрактивная дистилляция, или технология “Райан Холмс”, использует более тяжелые углеводороды (например, этан), что увеличивает растворимость CO₂ в жидкой фазе, рабочую температуру и относительную летучесть, облегчая разделение. Метод перевода двуокиси углерода из газа в жидкость хорошо известен как передовая технология очистки и сжатия CO₂, улавливаемого при сжигании кислорода.

Обогащенный CO_2 дымовой газ, получаемый в результате кислородного сжигания, идеально подходит для очистки при помощи технологии криогенного улавливания [4].

2. Нетрадиционное разделение V-S. Относительно большие энергозатраты при обычной криогенной дистилляции делают паротвердое разделение (V-S) привлекательным решением. Исследование, в котором сравнивались два варианта, показало, что для газовой смеси с содержанием CO_2 равным 70% от общего объема, потребность в энергии для обычной системы экстрактивной криогенной дистилляции составляла 1472 кДж/кг CO_2 , а потребность в энергии для криогенного уплотненного слоя составляла 810 кДж/кг CO_2 . Низкотемпературное улавливание углерода, основанное на равновесии твердого вещества и пара, обеспечивает преимущество образования твердых частиц, что нежелательно при криогенной дистилляции и требует достижения температур, при которых CO_2 будет замерзать. Достижение условий десублимации влечет за собой контакт с холодной средой, поэтому здесь представлены различные варианты достижения необходимых холодных условий [5].

3. Теплообменники для криогенного разделения. Теплообменники являются ключевыми установками для криогенных промышленных применений, таких как технологическое охлаждение, разделение и дистилляция газовых смесей, а также сжижение для транспортировки и хранения [6]. Общая энергетическая эффективность системы в основном оценивается на основе требований, предъявляемых к компрессорам. Таким образом, криогенные теплообменники спроектированы таким образом, чтобы работать с высокой эффективностью при относительно небольших перепадах температур, чтобы компенсировать большие площади теплопередачи и высокие первоначальные затраты. Это приводит к высоким затратам на производство и установку. Ассортимент теплообменников, которые могут быть использованы, довольно ограничен. Теплообменники для криогенного применения включают 3 типа теплообменников: спиральные теплообменники, используемые при промышленном сжижении воздуха; пластинчатые теплообменники (включая многопоточные пластинчато-ребристые теплообменники) и регенеративные теплообменники, которые более совместимы с технологиями накопления энергии. Для криогенного разделения CO_2 с использованием теплообменников было разработано три теплообменника. Первый теплообменник предварительно охлаждает поток насыщенного CO_2 до $-100\text{ }^\circ\text{C}$. Затем температура обедненного потока CO_2 понижается до $-125\text{ }^\circ\text{C}$, после чего происходит размораживание CO_2 с использованием нагревательного потока при температуре $-50\text{ }^\circ\text{C}$ для извлечения жидкого и газообразного CO_2 .

Из-за роста инея во время стадии замораживания процесс размораживания необходим для поддержания допустимых потерь давления при циркуляции со стороны газа. Таким образом, используется процесс термического переключения, который переключается между режимами замораживания и размораживания, что может вызвать проблемы при непрерывной работе. Кроме того, слой инея CO_2 на поверхности теплообменника влияет на теплопередачу, требуя большего охлаждения и, таким образом, снижая его эффективность.

4. Криогенные жидкости. В качестве альтернативы теплообменникам дымовой газ, содержащий CO_2 , может непосредственно контактировать с криогенной жидкостью, в результате чего дымовой газ образует твердые частицы CO_2 в ступенчатой десублимационной колонне. Углекислый газ, растворенный в контактирующей жидкости, образует суспензию, которая затем проходит фильтрацию и впоследствии дает чистый продукт CO_2 . Контактная жидкость используется для обеспечения охлаждения при непосредственном контакте, предотвращая замерзание CO_2 на поверхностях и способствуя транспортировке замерзшего CO_2 в виде жидкой глины. В качестве криогенной жидкости может быть использован изопропан. Поскольку твердый CO_2 фильтруется, контактная жидкость может быть переработана с целью создания замкнутого контура, вследствие чего потери контактной жидкости будут

незначительными. Непосредственный контакт жидкости с газом может быть достигнут с помощью барботажной колонны для опытно-промышленных применений, распылительной башни для более крупных или полномасштабных промышленных применений или колонны с псевдооживленным слоем, которая потенциально может применяться в больших масштабах, но которая не была еще не протестирована [2]. Однако, эксперимент был смоделирован и было установлено, что экономия энергии достигнет 0,74 МДж/кг CO_2 при 90% улавливании CO_2 .

Криогенный улавливатель углерода с внешним контуром охлаждения использует отвод [7] тепла для удаления замерзшего CO_2 . Дымовой газ сначала проходит через сушилку, которая удаляет воду из дымового газа, затем сухой дымовой газ проходит через теплообменник и смешивается с контактной жидкостью, где из газа десублимируется 99% CO_2 . Охлаждение теплообменника осуществляется через хладагент внешнего контура охлаждения. После отделения твердого CO_2 от потока газа и контактной жидкости давление в потоке твердого CO_2 повышается до 70-80 бар. После этой стадии сжатия поток твердого CO_2 и поток обедненного CO_2 проходят через второй теплообменник, который обеспечивает рекуперацию энергии хладагенту ECL и превращает поток твердого CO_2 в поток жидкости высокого давления. Процесс преодолевает некоторые ограничения теплообменников, например, снижение скорости теплопередачи из-за образования слоя инея CO_2 на поверхности теплообменника. Обработка твердых частиц улучшается за счет образования суспензии контактной жидкости с твердым CO_2 . Однако этот процесс зависит от выбора контактной жидкости, которая должна иметь низкое давление пара, чтобы избежать потерь при испарении, а также не наносить вреда окружающей среде или человеку.

5. Уплотненные слои, заполненные материалом холодного слоя, использовались в качестве поверхности теплопередачи для улавливания CO_2 . Криогенно охлажденный газообразный азот подается в уплотненный слой для предварительного охлаждения материала слоя в качестве стадии охлаждения. Как только стадия предварительного охлаждения завершена, поток охлаждающего газа азота прекращается, и имитированный дымовой газ, содержащий CO_2 , подается в насадочную колонну. Когда дымовой газ, содержащий CO_2 , достаточно охлаждается материалом слоя, CO_2 десублимируется на поверхности материала слоя, образуя иней. CO_2 -иней будет продолжать расти на поверхности материала слоя до тех пор, пока материал слоя не достигнет насыщения. Когда материал слоя становится насыщенным, иней CO_2 начинает образовываться на свежем материале слоя, который далее поступает в улавливающую колонну. Это приводит к образованию фронта замерзания, который продвигается через уплотненную колонну. Скорость, с которой фронт замерзания продвигается через колонну, называется скоростью фронта замерзания. Улавливающая колонна насыщается инеем CO_2 , когда фронт инея проходит через улавливающую колонну и требует стадии регенерации для удаления инея CO_2 с уплотненного слоя. Туинье и др. провели численное исследование трех уплотненных слоев, работающих в параллельном циклическом режиме между стадиями улавливания, регенерации и охлаждения, чтобы создать псевдоднепрерывный процесс. Мощность охлаждения зависит от начальной температуры слоя и концентрации CO_2 в дымовых газах, но обычно колеблется в пределах 1,2–2,6 МДж/кг CO_2 .

6. Другие методы

Криогенный улавливатель углерода сжатым дымовым газом (CCC-CFG) умеренно сжимает дымовой газ до 5-7 бар перед теплообменом и расширяет дымовой газ после теплообмена для удаления CO_2 -иней [7]. В этом процессе используется осушитель для удаления содержания воды из дымовых газов, а затем используется теплообменник для удаления CO_2 . Аналогично процессу CCC-ECLAC, теплообменник рекуперировывает энергию, используя поток твердого CO_2 под давлением, который охлаждает поступающий дымовой газ, и твердый CO_2 плавится. Этот этап теплообмена достаточно охлаждает дымовой газ

до выделения примерно 75% CO₂ из газовой фазы. После расширения сжатого дымового газа 99% CO₂ отделяется от газовой фазы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании проведенного литературного обзора была произведена оценка достоинств и недостатков вышеизложенных методов криогенного улавливания углерода. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение характеристик криогенного улавливания углерода с другими технологиями улавливания углерода

Технология	Уплотненный слой	Адсорбция	Поглощение	Оболочка
Преимущества	CO ₂ может быть восстановлен с высокой чистотой	Отработанная технология	Большинство растворителей дешевы и подходят для высокотемпературных применений	Высокая чистота и извлечение CO ₂
	Способен работать при атмосферном давлении	Низкая стоимость сорбентов		Низкая потребность в энергии
		Сорбенты могут быть регенерированы и использованы повторно		Недорогое отделение CO ₂
Недостатки	Неэкономично для разбавленных потоков подачи CO ₂	Высокая энергетическая потребность, требуется высокое давление для адсорбции CO ₂ .	Высокая экономия энергии из-за регенерации сорбента	Низкая селективность для улавливания CO ₂
				Высокая капиталоемкость (подходит для крупномасштабного применения)
	Очищение от воды для предотвращения забивания льдом	Периодическая регенерация сорбента легко приводит к быстрой деградации сорбентов и последующей замене	Большие капитальные затраты, обусловленные размерами оборудования установки и высокоэффективным сорбентом	Низкая активность наблюдается, когда концентрация CO ₂ в исходном потоке составляет менее 20%
				Высокая потребность в энергии из-за охлаждения
Масштаб	От малого к большому	Большой	Большой	От малого до среднего
CO ₂ регенерация	99,99%	80–95%	60-95%	60-90%

ВЫВОДЫ

Улавливание, накопление и вторичное использование практически всего количества выделяемого углерода необходимо для полного отказа от ископаемого топлива и для устранения влияния выбросов углекислого газа на экологию Земли. В этом обзоре были рассмотрены существующие методы криогенного улавливания углерода, были сделаны выводы об их эффективности и возможности рационального применения данных технологий в зависимости от размера предприятия. Наиболее эффективным методом криогенного улавливания углерода является метод уплотненных слоев, т.к. он обеспечивает максимальное улавливание CO₂ и подходит как для небольших, так и для крупных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет Росстата о выбросах парниковых газов по секторам. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (дата обращения: 19.12.2022).
2. Суханова Е.В., Герасимова Е.С. Снижение выбросов CO₂ при производстве цемента // Уральский федеральный университет, 2015. с. 335-336.
1. Мартин Д., Джонсон К., Столберг А., Чжан Х., и Де Янг, С. // Углекислый газ способы его захвата: обзор литературы определение возможностей удаления углерода и оценка стоимости (Энергетический институт Мичиганского университета), [Электронный ресурс] (<http://energy.umich.edu/research/publications/carbon-dioxidere-moval-options-literature-review-identifyingcarbon-removal>), дата обращения 18.12.2022
2. Соколоу Р., Десмонд М., Айнс Р., Блэксток Дж., Болланд О., Каарсберг Т., Льюис Н., Маццотти М., Пфеффер А., Сойер К. и др. // Прямой улавливание CO₂ из воздуха химическими веществами: Оценка технологии для Группы APS по связям с общественностью (Американская Физическое общество). 2011. С. 121-154
3. Лакнер, К.С. (2016). Обещание отрицательных выбросов. 2016. С. 354, 714.
4. BEIS. The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution—Building Back Better, Supporting Green Jobs, and Accelerating Our Path to Net Zero; HM Government: London, UK, 2020.
5. Mondal, M.K.; Balsora, H.K.; Varshney, P. Progress and trends in CO₂ capture/separation technologies: A review. *Energy* 2012, 46, 431–441.
6. Ben-Mansour, R.; Habib, M.A.; Bamidele, O.E.; Basha, M.; Qasem, N.A.A.; Peedikakkal, A.; Laoui, T.; Ali, M. Carbon capture by physical adsorption: Materials, experimental investigations and numerical modeling and simulations—A review. *Appl. Energy* 2016, 161, 225–255.
7. IMO. IMO Action to Reduce Greenhouse Gas. Emissions from International Shipping; International Maritime Organization: London, UK, 2020.
8. Willson, P. Evaluation of the Marine Application of Advanced Carbon Capture Technology; PMW Technology Limited, Department of Transport: London, UK, 2020

ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЛИВНЕВЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОКОВ

Е.В. Алексеев¹, Т.С. Сидорова²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹AlekseevE@mgsu.ru

²sidorova.tat88@gmail.com

Аннотация

С ростом урбанизации становится всё меньше места для устройства аккумулирующих резервуаров из монолитного железобетона. Сжатые сроки проектирования и высокие темпы строительства диктуют потребность замены дорогостоящих и долго возводимых железобетонных сооружений на резервуары заводской готовности из различных материалов. Не смотря на множество преимуществ таких резервуаров, не все материалы, из которых производятся резервуары, соответствуют экологическим стандартам в плане герметичности и прочности. Выбор материала подчас основывается только на стоимости, что приводит к печальным последствиям.

Перспективным направлением решения этой проблемы является сравнительный анализ основных материалов производимых резервуаров, описание их плюсов и минусов в зависимости от назначения, а также их характеристик, влияющих на экологическую безопасность. Анализ материалов позволит выбрать оптимальный материал для изготовления резервуаров, а также покажет недостатки, которые потребуется улучшить для увеличения экологической безопасности.

ВВЕДЕНИЕ

Резервуары для хранения, аккумуляции и предварительного отстаивания сточных вод множество лет изготавливались из монолитного железобетона. Данный материал, появившийся в 19 веке, хорошо себя зарекомендовал во множестве сфер строительства. За такой длительный промежуток времени были выявлены множество недостатков и пути их решений [1]. Однако прогресс не стоит на месте и взамен железобетона приходят современные материалы, лишенные недостатков железобетона, на фоне которых железобетон теряет свою привлекательность.

Для резервуаров свыше 1000 м³ наиболее оптимальным и рекомендованным материалом производства остается железобетон [2], но для резервуаров меньшего объема минусов использования железобетона гораздо больше, чем плюсов. Железобетонные резервуары имеют большие эксплуатационные затраты, высокую стоимость, долгую установку, опасность всплытия при высоком уровне грунтовых вод, сложность выявления дефектов [3, 4].

Всего этого лишены резервуары из стеклокомпозитных и полимерных материалов. Применение таких резервуаров положительно сказывается на развитии строительной отрасли, а именно на уменьшении сроков и стоимости строительства, упрощении обслуживания и эксплуатации, а также повышает экологическую безопасность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Вопрос хранения, аккумуляции и предварительного отстаивания ливневых и хозяйственно-бытовых стоков решается путем установки накопительных резервуаров заводской готовности. Цель исследований состояла в анализе современных материалов, из которых изготавливают резервуары для хранения ливневых и хозяйственно-бытовых стоков, а также влияние материала на конструктивное оформление технологического оборудования и его прочностные характеристики, влияющие на экологическую безопасность.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Накопительные резервуары заводской готовности изготавливают преимущественно из стеклокомпозитных и полимерных материалов. Они представляют собой емкости различного назначения, изготовленные в виде готового изделия из труб со структурированной стенкой, либо наматываются методом машинной намотки из стеклопластика.

Монтаж резервуаров простой и быстрый. При отсутствии грунтовых вод не требуется устройство фундаментной плиты, что уменьшает сроки строительства объекта. Монтаж резервуара представлен на рис. 1.



Рис. 1. Монтаж резервуара из полиэтилена.

При выборе материала изготовления резервуаров заказчики обычно ориентируются на стоимость, не задумываясь о качестве и долговечности изделия, не говоря уже о экологической безопасности.

Полиэтилен и стеклопластик имеют ряд существенных различий, представленных в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ резервуаров из полиэтилена и стеклопластика.

Резервуар из полиэтилена	Резервуар из стеклопластика
Небольшие царапины при монтаже	
Допустимы. Не нарушают герметичности и прочности корпуса. Изделия из ПЭ не подвержены риску возникновения микротрещин с вероятностью последующего разрушения. Ударная прочность при $t \text{ } 0^{\circ}\text{C} \leq 10\%$.	Не допустимы. Приводят к появлению и разрастанию микротрещин, которые при динамических и циклических нагрузках увеличиваются и способствуют разрушению корпуса.
Верхняя часть горловин резервуаров находится в зоне промерзания	
Нет опасности. Материал гидрофобный.	Существенным недостатком стеклопластиковых корпусов является гигроскопичность и влагопоглощение (0,2-0,8%), что существенно снижает их работоспособность, особенно при эксплуатации в зонах с колебаниями температур в отрицательном диапазоне, где частично может находиться корпус и где находятся горловины (замерзание воды в теле материала приводит к накоплению дефектов и разрастанию микротрещин). В конечном итоге это приводит к разрушению стенки горловины.
Корпус резервуара	
Производится из трубы в соответствии с ГОСТ Р 54475. Проводится программа испытаний в соответствии с ГОСТ Р 54475 [5].	Производится намотка корпуса сразу на барабан, производится по ТУ.
Кольцевая жесткость корпуса резервуара	
SN2-SN8. Изделия из ПЭ полностью герметичны, обладают высокой прочностью, стойкостью к статическим (давление грунта на корпус) и динамическим нагрузкам (нагрузки от автотранспорта). При увеличении кольцевой жесткости корпуса возможна установка на большой глубине (до 18-ти метров и более), при этом кольцевая жесткость корпуса может быть увеличена до SN16 и обоснована расчетом для конкретных условий монтажа.	Отсутствует. Изделия производятся не из труб, а методом намотки и с "непрозрачной" кольцевой жесткостью.
Толщина стенок корпуса	
Регламентирована ГОСТ Р 54475.	Нигде не указана. Производитель может занижать толщину стенок корпуса, так как она нигде не указана. Уменьшение стенок корпуса ведет к снижению несущей способности.

Возможность длительного нахождения резервуара в незаполненном состоянии под землей	
Возможно, т.к корпус резервуара обладает кольцевой жесткостью.	Ограниченно. Некоторые производители указывают в паспортах о недопустимости опустошения резервуара из стеклопластика на срок более 3-х часов, т.к в этом случае корпус резервуара может быть деформирован.
Возможные неисправности	
Деформация корпуса исключается. Технические колодцы соединяются с корпусом с помощью муфт, которые исключают разгерметизацию; целостность корпуса, качество выполнения изготовления перегородок гарантирует исключение попадания грунтовых вод.	Деформация корпуса, проникновение грунтовых вод (негерметичность), нарушение соединения с техническим колодцем, повреждение внутренних конструкций (выламывание перегородок). Следствием всего этого являются провалы грунта на объекте заказчика.
Экология	
Возможность повторной переработки.	Невозможность рециклинга изделий из стеклопластика ведет к ухудшению экологической ситуации.
Комплексность задачи на объекте	
Наличие всех необходимых элементов (труб, колодцев, фитингов) из аналогичных материалов.	Отсутствие фитингов из аналогичных материалов.

Одним из ключевых параметров прочности резервуара является его кольцевая жесткость, которая подбирается под конкретные условия. Верно подобранная жесткость резервуара позволяет эксплуатировать резервуар не только в заполненном, но и в пустом состоянии, не боясь деформаций и разрушений.

Кольцевая жесткость корпуса емкости должна быть не менее SN2. Подбор необходимой кольцевой жесткости корпуса емкости производится на основе данных опросного листа и прочностного расчета по СП 399.1325800. Возможность применения емкостей с нормированной кольцевой жесткостью корпуса является важным преимуществом полимерной емкости перед емкостью из стеклопластиковых (композитных) материалов, у которой такой параметр отсутствует, что делает невозможным проведение проверочного прочностного расчета при выборе производителя емкости из стеклопластика [6].

Пример расчета на прочность представлен на рис.2

Оценочный статический расчёт на прочность резервуара.

Данные из опросного листа заказчика:

1		Рабочая температура, °С - до плюс 20
2		Резервуар - давление атмосферное
3		Внутреннее давление 0 МПа
4		Наружный диаметр - 3100 мм
5		Глубина заложения до верха обечайки - 1,85 м
6		Высота грунтовых вод над верхом обечайки - 0 м
7		Категория грунта - Согласно опросного листа
8		Удельный вес грунта - 18,00 кН/м ³
9		Степень уплотнения - 0,95
10		Контроль качества уплотнения грунта - ПЕРИОДИЧ
11		Модуль деформации грунта засыпки - 16,00 МПа
12		Транспортная нагрузка - 27,9 кН/м ²

Результаты расчёта:

Резервуар			
Тип обечайки	СПИРОЛАЙН SN6		
Наружный диаметр	D_n	3100	мм
Внутренний диаметр	$D_{вн}$	2800	мм
Внутреннее давление	P	0	МПа
Материал обечайки			
Кратковременный модуль упругости	E_o	800,00	МПа
Долговременный модуль упругости E_t	E_t	200,00	МПа
Коэффициент Пуассона материала трубы	μ	0,43	
Предел текучести при растяжении	σ_o	16,00	МПа
Грунт			
Удельный вес грунта засыпки котлована	$\gamma_{зр}$	18,00	кН/м ³
Модуль деформации грунта в пазах котлована	$E_{зр}$	16,00	МПа
Глубина заложения до верха обечайки	$H_{зр1}$	1,85	м
Глубина заложения до оси обечайки	$H_{зр2}$	3,40	м
Высота грунтовых вод над верхом обечайки	$H_{зв}$	0,00	м

Коэффициенты			
Коэффициент, учитывающий качество уплотнения постели грунта	K_σ	1	
Коэффициент уплотнения грунта	K_γ	0,95	
Расчет на прочность			
Нагрузка от давления грунта	$q_{зр}$	0,0612	МПа
Нагрузка от давления грунтовых вод	$q_{зв}$	0,0000	МПа
Нагрузка от транспорта	q_t	0,0279	МПа
Суммарная внешняя нагрузка	q_c	0,0891	МПа
Кратковременная кольцевая жёсткость	G_o	0,3871	МПа
Длительная кольцевая жёсткость	G_t	0,0968	МПа
Относительное укорочение вертикального диаметра под действием грунтовой нагрузки	$\varphi_{зр}$	0,0083	
Относительное укорочение вертикального диаметра под действием транспортной нагрузки	φ_t	0,0029	
Относительное укорочение вертикального диаметра в процессе складирования и монтажа	φ_m	0,0200	
Относительное укорочение вертикального диаметра обечайки в грунте	φ	0,0311	
Коэффициент, учитывающий овальность обечайки	$K_{ов}$	0,9782	
Максимальная деформация растяжения материала в стенке обечайки под действием нагрузок $q_{гр}$ и q_t	ϵ_p	0,0057	
Степень сжатия материала стенки обечайки от воздействия внешних нагрузок	ϵ_c	0,0013	
Степень растяжения материала стенки обечайки от внутреннего давления воды в резервуаре	ϵ	0,0000	
Деформация растяжения материала стенки обечайки в условиях релаксации	$\epsilon_{рр}$	0,064	
Деформация растяжения материала стенки обечайки в условиях ползучести	$\epsilon_{рп}$	0,02	
Проверка условия прочности обечайки $\epsilon_p/\epsilon_{рр} + \epsilon_c/\epsilon_{рп} \leq 1$	0,1702	1	
Проверка устойчивости оболочки обечайки $q_{уст} = (K_{уг} * K_{ов} * (n * E_{гр} * G_t)^{0,5}) / K_{з\gamma} \geq q_c$	0,2029	0,0891	МПа

Согласно расчету, учитывая исходные данные, допускается применение резервуара с обечайкой из трубы СПИРОЛАЙН DN/ID 2800 SN6

Расчёт произведён в соответствии с СП 399.1325800.2018.

Рис. 2. Пример расчета на прочность резервуара.

Резервуары, выполненные из труб со структурированной стенкой, не требуют дополнительных мер защиты, от сквозной фильтрации жидкости через трещины покрытий, стен и днища, которые появляются у аналогичных конструкций резервуаров из железобетона, в результате общей деформации, вызванной неравномерной осадкой грунта и перепадами температур.

Ещё одним ключевым параметром, на который многие не обращают внимания, является соединение резервуара с трубопроводом. От качества соединения зависит герметичность изделия и попадет ли загрязненный сток из резервуара в грунт. Сам резервуар независимо от материала может быть выполнен идеально, но некачественный монтаж соединений может привести к загрязнению почвы и заражению грунтовых вод отходами жизнедеятельности, реагентами, присутствующими в ливневых сточных водах, а также различными химическими соединениями [7].

В полиэтиленовых емкостях все патрубки в местах соединения с корпусом емкости приварены ручной экструзионной сваркой, что обеспечивает герметичность корпуса (рис.3). В изделиях из стеклопластика (рис.4) для герметичности используют каболку. При монтаже емкостей происходит ее смещение, и, как следствие, разгерметизация корпуса в местах входа/выхода труб. Тоже самое может произойти при малейшей осадке грунта, либо при незначительном смещении труб. Протечка патрубков при таком способе герметизации происходит более, чем в 80% случаев.



Рис. 3. Патрубки ПЭ резервуара



Рис. 4. Патрубок стеклопластикового резервуара

ВЫВОДЫ

Целевая задача резервуаров для хранения сточных вод - защита окружающей человека среды от проникновения сточных вод в грунт. Актуальное направление решения проблемы загрязнения окружающей среды сточными водами состоит в необходимости выбора оптимального материала и конструкции, способствующей герметичности изделия, а также повышению их надежности и долговечности.

Этого можно достичь путем применения эффективных технологических решений, использованием современных материалов и улучшением конструкций резервуаров.

В перспективе резервуары заводской готовности смогут полностью заменить резервуары из железобетона. Производители резервуаров стараются увеличивать объемы за счет применения сварных конструкций и других решений, которые позволяют и дальше сокращать сроки строительства объектов и снижать их стоимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лопатто А.Э.* Артур Фердинандович Лолейт. К истории отечественного железобетона. — М.: Стройиздат, 1969. — 104 с.
2. *СП 32.13330.2018.* Канализация. Наружные сети и сооружения.
3. *Алексеев М.И. Курганов А.М.* Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: учеб. Пособие. – М.: АСВ, 2000 – 352 с.
4. *Сколубович Ю. Л., Войтов Е. Л., Цыба А. А.* Очистка и утилизация поверхностных сточных вод. М.: Издательство АСВ, 2021. 108 с
5. *ГОСТ Р 54475-2011.* Трубы полимерные со структурированной стенкой и фасонные части к ним для систем наружной канализации.
6. *СП 399.1325800.2018.* Системы водоснабжения и канализации наружные из полимерных материалов.
7. *СанПиН 2.1.3684-21.* Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. [Электронный ресурс. Режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/573536177>].

Секция 5. Безопасность зданий и сооружений

ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО КОНТУРА МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ

П.С. Трунтов¹, Г.С. Быков², М.А. Логунова³, В.И. Римшин⁴

^{1,4}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

^{2,4}Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН),

³ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113,

¹pavel_truntov@mail.ru

²admin.nex@gmail.com

³m.logunova@sibstrin.ru

⁴V.Rimshin@mgsu.ru

Аннотация

Предметом исследования является двенадцатиэтажный многоквартирный дом постройки 1950-60-х годов прошлого века, включенный в программу капитального ремонта. В целях выполнения программы капитального ремонта, проводимого в городе Москве, авторами определена толщина ограждающих стеновых конструкций (наружной стены) и выявлена ее недостаточность в соответствии с действующими нормативными документами в области теплотехника и климатология в нашей стране.

В работе также исследованы теплотехнические характеристики заполнения конструкции железобетонных плит мансардного этажа в виде керамзитового гравия.

Авторами получены следующие результаты, такие как значение приведенного сопротивления теплопередаче $R_{пр}^0$, которое оказалось меньше требуемого нормативного значения $R_{норм}^0$, а именно $0,76 < 2,99$, следовательно, представленная ограждающая конструкция не соответствует требованиям Требования к теплопередаче.

Выявлено, что значение приведенного сопротивления теплопередаче $R_{пр}$ меньше требуемого нормативного значения $R_{тн}$, а именно $1,98 < 3,95$, следовательно, представленная ограждающая конструкция не соответствует требованиям по теплопередаче.

По результатам выполненных расчетов определено, что необходимо провести утепление чердачного помещения и довести температурно-влажностный режим до необходимого уровня в соответствии с действующими нормативно-техническими документами в области теплоснабжения. техники и климатологии, действующих в настоящее время в нашей стране.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в нашей стране получила значительное развитие программа капитального ремонта многоквартирных жилых домов. В данном научном исследовании представлен теплотехнический расчет ограждающих конструкций и мансардного этажа двенадцатиэтажного односекционного жилого дома. Предложенные расчеты позволяют определить и подтвердить способность ограждающих стеновых конструкций соответствовать новым нормативным документам, вступившим в силу в последнее время. Следует иметь в виду, что при проведении капитального ремонта в здании требуется процедура обследования несущих конструкций на предмет их конструктивной надежности и технической безопасности. Для оценки пространственного положения строительных конструкций и оценки соответствия существующих конструкций требованиям норм учитывались требования [1].

При обследовании использовались визуальные и визуально-инструментальные методы. Визуально выявлены видимые дефекты строительных конструкций: разрушение защитного слоя бетона, трещины, смещение несущих элементов относительно проектного

положения. Визуально-инструментальными методами уточнены геометрические размеры строительных конструкций и отдельных элементов, определены прогибы, ширина раскрытия трещин, а также прочностные характеристики строительных конструкций.

Вопросы конструктивной надежности несущих конструкций, а также исследования тепловых характеристик ограждающих конструкций, а также чердачных конструкций в нашей стране представлены в работах [5-12].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Наружные стены здания выполнены из керамзитобетонных блоков толщиной 400 мм.

Внутренние стены здания выполнены из бетонных блоков толщиной 200 мм. На цокольном уровне стены выполнены из бетонных фундаментных блоков типа ФБС толщиной 400-500 мм с глиняным кирпичом, наружные стены из керамзитобетонных блоков окрашены масляной краской, горизонтальные и вертикальные замковые швы заделаны с полимерной мастикой. Основание окрашено масляной краской. Стены в прихожей окрашены вододисперсионными составами. Проклеены горизонтальные и вертикальные замковые швы наружных стен здания. Межблочные швы снаружи заделывают полимерной мастикой. Внутри шва предусмотрена установка уплотнительного жгута типа «Вилатерм». Устраиваются стальные оконные отливы. Материал стен – керамзитобетон. В результате обследования установлено, что контроль за техническим состоянием стен обеспечен не в полном объеме, а ремонт проведен несвоевременно.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для подтверждения тепловых характеристик ограждающих конструкций многоэтажного жилого дома был выполнен тепловой расчет. Общие виды переднего и торцевого фасадов здания представлены на рис.1.

Расчет производился в соответствии с требованиями следующих нормативных документов [2-4].



Рис.1. Общие виды лицевого и торцевого фасада здания.

Вот исходные данные, необходимые для теплотехнического расчета ограждающей конструкции здания.

Район строительства – город Москва.

Относительная влажность воздуха составляет $\varphi_{\text{внутр}}=55\%$.

Назначение здания жилое.

Расчетная ограждающая конструкция – наружная стена.

Расчетная средняя температура воздуха внутри здания: $t_{\text{внутр}}$ составляет 20°C

Ниже приведем выполненный расчет.

Согласно таблице из нормативного документа [2] при температуре внутреннего воздуха здания $t_{\text{внутр}}=20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности внутреннего воздуха $\varphi_{\text{внутр}}=55\%$ влажностный режим помещения определяется как нормальный.

Определим базовое требуемое сопротивление теплопередаче R_0^{TP} согласно нормативным требованиям к приведенному сопротивлению теплопередаче (п. 5.2) нормативного документа [2] по формуле (1):

$$R_0^{\text{TP}} = a \times \text{ГСОП} + b \quad (1)$$

где, а и b- коэффициенты согласно таблице 3 нормативного документа [2].

Так для ограждающей конструкции вида - наружные стены и жилого здания $a=0.00035$; $b=1.4$

Определим ГСОП по формуле (5.2) нормативного документа [2], в данной работе по формуле (2)

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \times z_{\text{от}} \quad (2)$$

где ГСОП - градусо-сутки отопительного периода;

$t_{\text{в}}$ - расчетная средняя температура воздуха внутри рассматриваемого здания, $^{\circ}\text{C}$
 $t_{\text{в}}=20^{\circ}\text{C}$

$t_{\text{от}}$ -средняя температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$ согласно таблице 1 нормативного документа [2] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более $+8^{\circ}\text{C}$ для жилых зданий.

$$t_{\text{ов}}=2,2^{\circ}\text{C}$$

$z_{\text{от}}$ -продолжительность в сутках отопительного периода принимаемые по таблице 1 нормативного документа [2] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более $+8^{\circ}\text{C}$ для жилых зданий.

$$z_{\text{от}}=205 \text{ суток}$$

Тогда согласно формуле (3)

$$\text{ГСОП} = (20 - (-2.2)) \times 205 = 4551^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут} \quad (3)$$

По формуле в таблице 3 нормативного документа [2] определяем базовое требуемое сопротивление теплопередачи $R_0^{\text{отр}}$ ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$), в данной работе по формуле (4).

$$R_0^{\text{норм}} = 0,00035 \times 4551 + 1.4 = 2.99 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

(4)

В связи с тем, что город Москва относится к зоне нормальной влажности, а влажностный режим в рассматриваемом здании также нормальный, то в соответствии с таблицей 2 нормативного документа [2] тепловые характеристики материалов наружная стена и мансардный этаж в дальнейшем принимаются по условиям эксплуатации Б.Керамзитобетон толщиной $\delta_3=0.4\text{м}$, $\lambda_{\text{БЗ}}=0.36\text{Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$ Условное сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{усл}}$, ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$) определим по формуле Е.6 нормативного документа[2], в данной работе по формуле (5):

$$R_0^{\text{усл}} = 1/\alpha_{\text{внутрен}} + \delta_n/\lambda_n + 1/\alpha_{\text{внешн}} \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{внутрен}}$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности наружной стены и далее чердачного перекрытия, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, принимаемый по таблице 4 нормативного документа [2]

$$\alpha_{\text{внутрен}}=8.7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$R_0^{\text{усл}}=1/8.7+0.4/0.36+1/23=0.83 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0^{np} , ($m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) определим по формуле 11 нормативного документа [4], в данной работе по формуле (6):

$$R_0^{np} = R_0^{ycl} \times r \quad (6)$$

r - коэффициент теплотехнической однородности рассчитываемых наружных стен и чердачного перекрытия.

$$r=0.92$$

Соответственно

$$R_0^{np} = 0.65 \times 0.92 = 0.76 m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (7)$$

Ниже приведены результаты теплового расчета мансардного этажа. Следы протечек с кровли показаны на рисунке 2. Такие дефекты, как наличие вздутий и складок на поверхности кровли, мелкая сетка трещин на поверхности рулонного гидроизоляционного ковра, следы застоя воды показаны на рисунке 3. .

Расчет производился в соответствии с требованиями следующих нормативных документов [2-4].



Рис. 2. Следы протечек с кровли



Рис. 3. Наличие вздутий и складок на поверхности кровли. Мелкая сетка трещин на поверхности рулонного гидроизоляционного ковра. Следы застоя воды.

Вот исходные данные, необходимые для теплотехнического расчета ограждающей конструкции здания.

Расчет производится для ограждающей конструкции – мансардных этажей (с кровлей из штучных материалов). Расчетная средняя температура воздуха внутри здания: внутри 20°C .

Ниже мы приводим расчет утепления мансардного этажа. Согласно таблице из нормативного документа [2] при температуре внутреннего воздуха здания $t_{внутр}=20^\circ\text{C}$ и относительной влажности внутреннего воздуха $\phi_{внутр}=55\%$ влажностный режим помещения определяется как нормальный.

Определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче $R_{отр}$ согласно нормативным требованиям к приведенному сопротивлению теплопередаче (п. 5.2) нормативного документа [2] по формуле (8):

$$R_0^{tr} = a \times \text{ГСОП} + b \quad (8)$$

Так для перекрытия чердачного (с кровлей из штучных материалов) и жилого назначения здания коэффициенты равны $a=0.00045; b=1.9$.

Определим ГСОП, $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$ по формуле (5.2) нормативного документа [2], в данной работе по формуле (9):

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{от}) \times z_{от} \quad (9)$$

$$\text{где } t_b=20^\circ\text{C}$$

$$t_{ов}=-2.2^\circ\text{C}$$

$$\text{ГСОП} = (20 - (-2.2)) \times 205 = 4551^\circ\text{C}\cdot\text{сут} \quad (10)$$

По формуле в таблице 3 нормативного документа [2] определяем базовое значение $R_{отр}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), в данной работе по формуле (11).

$$R_0^{\text{норм}} = 0.00045 \times 4551 + 1.9 = 3.95 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \quad (11)$$

Теплотехнические характеристики материалов чердачного перекрытия:

1) Цементно-песчаная стяжка, толщина $\delta_1=0.1 \text{ м}$, $\lambda_{Б1}=0.58 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

2) Керамзит, толщина $\delta_1=0.2 \text{ м}$, $\lambda_{Б1}=0.12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

3) Железобетон (ГОСТ 26633), толщина $\delta_2=0.22 \text{ м}$, $\lambda_{Б2}=2.04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

Условное сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{усл}}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) рассчитаем по формуле Е.6 СП 50.13330.2012, в данной работе по формуле (12):

$$R_0^{\text{усл}} = 1/\alpha_{\text{int}} + \delta_n/\lambda_n + 1/\alpha_{\text{ext}} \quad (12)$$

где $\alpha_{\text{внутрен}}=8.7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности чердачного перекрытия согласно таблице 4 из нормативного документа [2] .

$\alpha_{\text{наружн}}=12$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности чердачного перекрытия с кровлей из штучных материалов в холодное время года согласно пункту 3 по таблице 6 нормативного документа [2].

$$R_0^{\text{усл}} = 1/8.7 + 0.1/0.58 + 0.2/0.12 + 0.22/2.04 + 1/12 = 2,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{отр}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) определим по формуле 11 нормативного документа [4], в данной работе по формуле (13).

$$R_0^{\text{пр}} = R_0^{\text{усл}} \times r \quad (13)$$

$$r = 0.92$$

$$R_0^{\text{пр}} = 2,15 \cdot 0.92 = 1,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

ВЫВОДЫ

По результатам расчетов, выполненных в данной работе, установлено, что для наружных стен значение приведенного сопротивления теплопередаче $R_0^{\text{пр}}$ меньше требуемого нормативного R_0 , а именно $0,76 < 2,99$, следовательно, рассматриваемая ограждающая конструкция не отвечает требованиям по теплопередаче ограждающих конструкций.

Также для мансардного этажа значение приведенного сопротивления теплопередаче $R_{отр}$ меньше требуемой нормативной $R_0^{\text{норм}}$, а именно $1,98 < 3,95$, поэтому представленная ограждающая конструкция не удовлетворяет требованиям по теплопередаче ограждающих конструкций.

В связи с этим можно сделать вывод о необходимости утепления чердака и приведения температурно-влажностного режима к требуемым нормативным документам.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции».
2. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.
3. СП 131.13330.2012 Строительная климатология.
4. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий
5. Римшин В.И., Кустикова Ю.О. О методике проведения эксперимента балочных конструкций В сборнике: Эффективные строительные конструкции: теория и практика. под редакцией Т. И. Барановой. 2005. С. 105-106.
6. Римшин В.И. Проблемы долговечности Бетон и железобетон. 2005. № 2. С. 27.
7. Римшин В.И., Бикбов Р.Х., Кустикова Ю.О. Некоторые элементы усиления строительных конструкций композиционными материалами Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2005. № 10. С. 381-383.
8. Бондаренко В.М., Марков С.В., Римшин В.И. Коррозионные повреждения и ресурс
9. силового сопротивления железобетонных конструкций БСТ: Бюллетень строительной
10. техники. 2004. No 8. С. 26.
11. Бондаренко В.М., Боровских А.В., Марков С.В., Римшин В.И. Элементы теории
12. реконструкции железобетона Москва, 2002.
13. Римшин В.И. Повреждения и методы расчета усиления железобетонных конструкций.
14. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Москва, 2001
15. Римшин В.И., Кецко Е.С., Трунтов П.С. Большой строительный словарь Том 1 А-О
16. Москва, 2022.
17. Римшин В.И., Кецко Е.С., Трунтов П.С. Большой строительный словарь Москва, 2022. Том 2 П-Я.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ И МИКРОСТРУКТУРНОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

А.В. Корнилова¹, В.Р. Коновальцев²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹KornilovaAV@mgsu.ru

²vladik_rus7@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию возможности применения магнитных методов, в частности метода коэрцитивной силы, для обследования стальных подкрановых балок. По изменению величины коэрцитивной силы выявляются изменения металла с структуре металла. Поведенное исследование показало, что все стали, применяемые в настоящее время для изготовления подкрановых балок, относятся к области магнитного α -железа. Экспериментально определив скорость изменения коэрцитивной силы, можно повысить надежность определения остаточного ресурса и снизить риск возникновения аварийных ситуаций. Также в статье обосновывается необходимость микроструктурного мониторинга стальных подкрановых балок в цехах с тяжелым режимом работы мостовых кранов. Микроструктурный мониторинг предусматривает определение опасных, наиболее нагруженных или наиболее зон, из которых необходимо брать пробы металла для выявления деградиационных изменений в конструкции. Такая система обеспечивает необходимую достоверность выявления микроповреждений при характерных размерах дефектов 1 мкм и более.

ВВЕДЕНИЕ

Металлические конструкции являются одними из самых широко применяемых видов строительных конструкций. Их разрушение может привести к нарушению производственного технологического цикла и к гибели людей. Зачастую повреждения металлических конструкций происходят при нарушении правил эксплуатации сооружений. Элементы металлоконструкций, расположенные вблизи источников тепловыделения, подвержены повреждениям от температурных воздействий.

В конструкциях, на которые действуют подвижные динамические нагрузки циклического характера возникают усталостные трещины как в основном металле, так и сварных швах и в околошовной зоне. Это особенно опасно для подкрановых балок. Особенно для кранов тяжелого режима работы.

Опыт и результаты технического обследования подкрановых балок в цехах с тяжелым и весьма тяжелым режимами работы показывают, что после 2–3 лет эксплуатации в верхней зоне стенки возникают продольные трещины усталостного характера [1]. Этому способствуют неравномерность контакта подошвы рельса и верхнего пояса, неровности головки рельса, смещение и перепады в стыках, сужение и расширение путей, поперечные уклоны, перекосы колес, перекося моста и т.д. Несмотря на это, подкрановые балки сохраняют несущую способность еще на длительный период эксплуатации [2–4]. В этой ситуации основное значение приобретают текущий контроль за техническим состоянием подкрановых балок и оценка их остаточного ресурса.

В настоящее время при проведении экспертизы промышленной безопасности машин и агрегатов в металлургии и машиностроении применяются магнитные методы, в частности метод коэрцитивной силы [5, 6]. Примеров применения этого метода при обследовании стальных подкрановых балок в открытой печати авторы не обнаружили. Последние исследования выявили существенное влияние на механизм зарождения усталостных трещин изменений микроструктуры сталей при эксплуатационных нагрузках.

Следовательно, для обеспечения безопасного остаточного ресурса стальных подкрановых балок в цехах с тяжелым и весьма тяжелыми режимами работы мостовых кранов введение в практику обследования магнитных методов контроля и микроструктурного мониторинга может оказаться весьма эффективно. Исследование посвящено определению применимости этих мероприятий для выбранного объекта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Представленное исследование носит расчетно-аналитический характер. Рассмотрена возможность использования магнитных методов неразрушающего контроля для всех строительных сталей, которые применяются в настоящее время (или остаются в эксплуатации) для изготовления подкрановых балок, входящие в рекомендованные для этой цели классы. Обоснована необходимость применения микроструктурного мониторинга опасных сечений стальных подкрановых балок, подвергающихся в процессе эксплуатации нагреву от технологического оборудования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения возможности применения магнитных методов при обследовании стальных подкрановых балок была применена структурная диаграмма Шеффлера [7], которая позволяет для сталей различного назначения определить фазовый состав в зависимости от компонентов, составляющих сплав. Фазовый состав однозначно определяет магнитные свойства сталей: α -железо, образующее феррит и мартенсит, обладают лучшими магнитными свойствами, чем γ -железо, образующее аустенит. Известно, что α -железо обладает объемно-центрированной кристаллической решеткой. Такое строение кристаллической решетки помимо хороших магнитных свойств обеспечивает металлам и сплавам на их основе наличие выраженного предела выносливости при циклическом нагружении. Образующее аустенит γ -железо имеет гранецентрированную кристаллическую решетку, немагнитно, и не обладает точкой перегиба на кривой усталости (кривой Веллера), соответствующей пределу выносливости. Поэтому все компоненты сплавов, легирующие элементы и примеси, входящие в сплав. Разделяют на две группы. К первой группе относятся элементы, повышающие магнитную проницаемость и снижающие величину коэрцитивной силы. Для этой группы рассчитывается хромовый эквивалент m_{Cr} (%) по формуле [7]:

$$m_{Cr} = Cr + 1,5 \cdot Si + Mo + Nb, \quad (1)$$

где Cr , Si , Mo и Nb – содержание соответственно хрома, кремния, молибдена и ниобия в процентах. К другой группе относятся элементы, уменьшающие магнитную проницаемость и повышающие коэрцитивную силу. Для этой группы элементов рассчитывается никелевый эквивалент m_{Ni} (%) по формуле [7]:

$$m_{Ni} = Ni + 0,5 \cdot Mn + 30 \cdot C, \quad (2)$$

где Ni , Mn и C – содержание соответственно никеля, марганца и углерода в процентах.

Данные по расчету хромового и никелевого эквивалентов приведены в таблице 1. Графическое представление полученных результатов показано на рис.1.

Таблица 1. Расчетные значения хромового и никелевого эквивалентов

Класс стали	Марка стали	Химические элементы по [8]							m_{Cr} , % по (1)	m_{Ni} , % по (2)
		Ni , %	Mo , %	Cr , %	Si , %	C , %	Mn , %	Nb , %		
С245	СтЗпс5	0,30	0,00	0,30	0,10	0,18	0,52	0,00	0,45	5,96
	СтЗсп5	0,30	0,00	0,30	0,90	0,18	0,52	0,00	1,65	5,96
С255	СтЗГпс	0,30	0,00	0,30	0,10	0,18	0,91	0,00	0,45	6,15
	СтЗГсп	0,30	0,00	0,30	0,90	0,18	0,91	0,00	1,65	6,15
С275	СтЗпс	0,30	0,00	0,30	0,10	0,18	0,52	0,00	0,45	5,96

Класс стали	Марка стали	Химические элементы по [8]							$m_{Cr},$ % по (1)	$m_{Ni},$ % по (2)
		$Ni,$ %	$Mo,$ %	$Cr,$ %	$Si,$ %	$C,$ %	$Mn,$ %	$Nb,$ %		
С285	Ст3сп	0,30	0,00	0,30	0,90	0,18	0,52	0,00	1,65	5,96
	Ст3Гпс	0,30	0,00	0,30	0,10	0,18	0,91	0,00	0,45	6,15
	Ст3Гсп	0,30	0,00	0,30	0,90	0,18	0,91	0,00	1,65	6,15
С345	12Г2С	0,30	0,00	0,30	0,60	0,12	1,50	0,00	1,20	4,65
	09Г2С	0,30	0,00	0,30	0,60	0,09	1,50	0,00	1,2	3,75
С390	14Г2АФ	0,30	0,00	0,40	0,50	0,14	1,60	0,00	1,15	5,3
С440	16Г2АФ	0,30	0,00	0,40	0,50	0,16	1,50	0,00	1,15	5,85
С590	12Г2СМФ	0,30	0,00	0,30	0,50	0,12	1,50	0,00	1,05	4,65

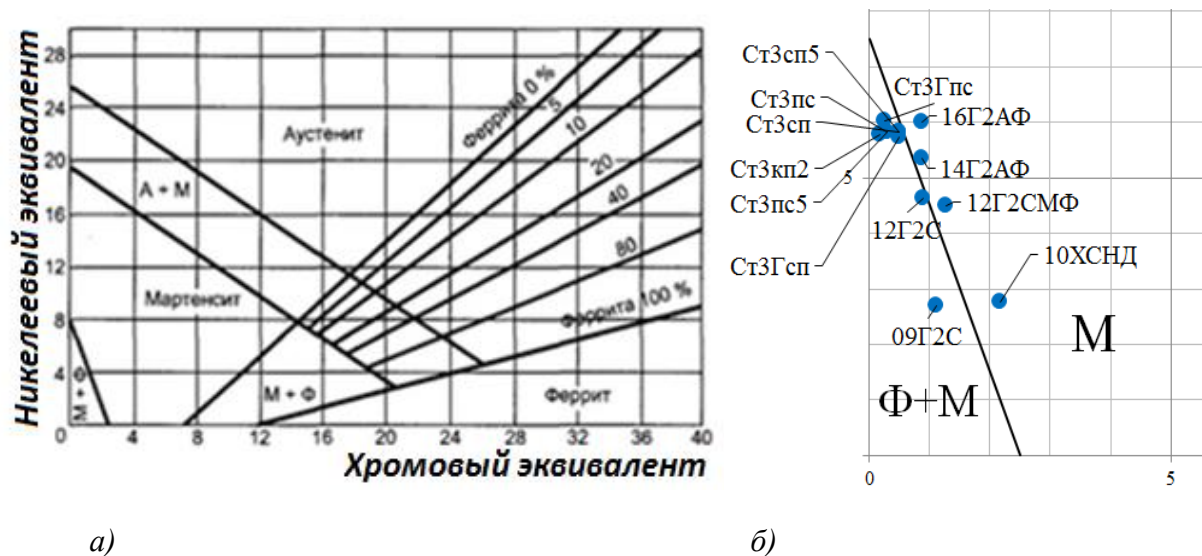


Рис. 1. Диаграмма Шеффлера - а), участок диаграммы с точками, соответствующими сталям из таблицы 1 (Ф-феррит, М-мартенсит)

Все рассмотренные стали находятся в области магнитного α -железа, следовательно магнитные методы контроля пригодны для обследования технического состояния стальных подкрановых балок. Ранее было доказано [9], что наиболее структурочувствительной магнитной характеристикой является коэрцитивная сила, понимаемая как напряженность магнитного поля, необходимая для полного размагничивания предварительно намагниченного до насыщения ферромагнетика. Следовательно, любые структурные изменения, происходящие в материале, приводят к изменению величины коэрцитивной силы. То есть коэрцитивная сила может быть принята в качестве индикатора накопленной повреждаемости металла, как возникшей в результате циклического эксплуатационного нагружения, так и технологической, привнесённой в процессе изготовления балки. По величине коэрцитивной силы можно выявить структурные изменения металла в тех случаях, когда другие магнитные свойства остаются без изменений. Экспериментально определив скорость изменения коэрцитивной силы, можно повысить надежность определения остаточного ресурса стальных подкрановых балок [9].

Почти все рассмотренные стали имеют феррито-перлитную структуру. Поэтому, по размеру зерна феррита в определенной мере можно предсказать физико-механические и прочностные свойства опасных сечений подкрановых балок. Границы ферритных зерен являются препятствием для движения дислокаций. Очевидно, что общая длина границ зерен (кристаллитов) увеличивается при уменьшении размера зерна. Предел текучести

стали и ударная тем выше, чем мельче кристаллиты. Это доказано большим количеством независимых исследований. На первом этапе изготовления металлоконструкций любого назначения размер зерна определяется скоростью охлаждения. Согласно закону Таммана каждой скорости охлаждения соответствует свой размер кристаллита. Следовательно, варьируя скоростью охлаждения можно задавать требуемые прочностные свойства сплава, в рассматриваемом случае стали.

Вопрос ликваций вредных примесей и их роль в возникновении трещин тоже должен являться предметом тщательного изучения. При поставке проката в лучшем случае указывается процентный состав вредных примесей. Отсутствие или наличие ликваций в наиболее нагруженных сечениях балки следует определять в процессе микроструктурного мониторинга. Микроструктурный мониторинг необходим также при обследовании подкрановых балок, работающих в условиях повышенных температур или термоциклирования. Ранее считалось, что в сталях с феррито-перлитной структурой рекристаллизация (рост одних зерен за счет других) начинается при температурах около 500-600°C. В настоящее время доказано, что коалиценция (как продукт низкотемпературной рекристаллизации) может возникнуть в результате нагрева даже при относительно низких температурах и вызвать нежелательное явление разнотеренность [10]. Это явление снижает прочность стали и ускоряет скорость коррозионных процессов. Корреляционная зависимость скорости коррозии от фактора разнотеренности определена в [11]. На рис.2 показана микроструктура стали 09Г2С после низкотемпературной рекристаллизации.

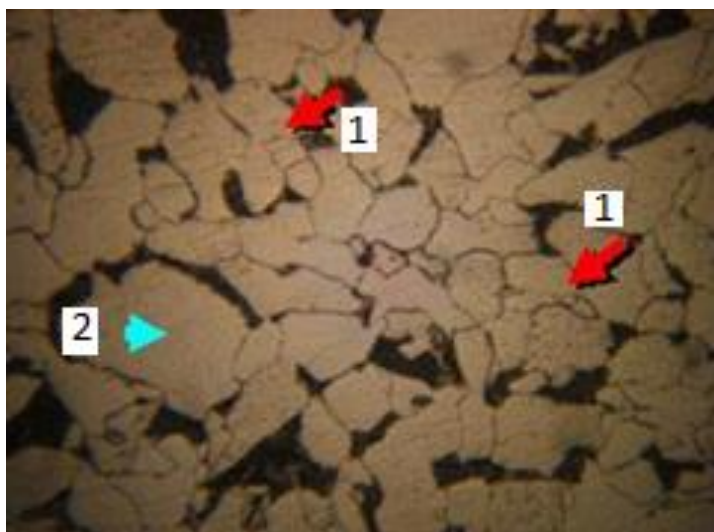


Рис. 2. Микроструктура стали 09Г2С после нагрева до 300 °С.

1 – растущее зерно; 2 – результат коалиценции [10]

Все вышесказанное говорит о том, что для ответственных металлоконструкций, в том числе для стальных подкрановых балок в цехах с тяжелым режимами работы мостовых кранов, применение микроструктурного мониторинга может быть весьма эффективно. Особенно это касается цехов, в которых технологический процесс предусматривает термоциклирование.

Микроструктурного мониторинг предусматривает проведение следующих операций [12]:

- вырезка образцов из наиболее повреждаемых (или наиболее нагруженных механической нагрузкой) зон металлоконструкции. Эти зоны наиболее информативны с точки зрения состояния металла и определяют остаточный ресурс конструкции в целом;
- изготовление из вырезанных или полученных сколом образцов микрошлифов путем шлифования, полирования и травления химическими реактивами;

- компьютерное сканирование микроструктуры;
- получение отпечатков-реплик микроструктуры;
- разработка для конкретной конструкции методик получения микрообразцов, позволяющих по характеристикам поверхностного слоя определять меру микроповреждения всего металла;
- разработка системы для определения категории опасности по вероятности разрушения при синергетическом действии всех повреждающих факторов по микроструктурному признаку.

Микроструктурный мониторинг предусматривает определение опасных, наиболее повреждаемых зон, где необходимо делать шлифы и/или выбирать микрообразцы. Такая система обеспечивает необходимую достоверность выявления микроповреждений и определения остаточного ресурса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенное исследование показало, что все применяемые в настоящее время и применявшиеся ранее для подкрановых балок стали относятся к ферромагнетикам, для которых возможно применение магнитных методов контроля состояния. На диаграмме Шеффлера стали классов С245, С255, С275, С285, С345, С390, С440 и С590 находятся в зоне, определяемой магнитным α -железом (феррит). Из всех магнитных методов наиболее эффективным является коэрцитиметрия. Предлагается построение экспериментальных магнитограмм в балке до начала эксплуатации и в процессе обследования и/или мониторинга. Это позволит ранжировать зоны балки по опасности разрушения и сократить время следующего обследования.

Обследование с помощью магнитных методов эффективно дополнить микроструктурным мониторингом. По состоянию структуры можно контролировать комплекс физико-механических свойств опасных сечений подкрановых балок. Такой комплекс исследований позволит повысить надежность определения остаточного ресурса и избежать аварийных ситуаций. Он также может быть применен для всех строительных металлоконструкций с феррито-перлитной структурой.

ВЫВОДЫ

1. При эксплуатации подкрановых балок в цехах с тяжелым режимом эксплуатации в верхней зоне стенки возникают продольные усталостные трещины. Это не всегда снижает их несущую способность, но требует периодического обследования и определения остаточного ресурса по результатам этого обследования.
2. Для надежного определения остаточного ресурса предлагается метод коэрцитивной силы. Исследование показало, что все применяемые в настоящее время и применявшиеся ранее для подкрановых балок стали относятся к ферромагнетикам, для которых этот метод является эффективным.
3. В дополнение к методу коэрцитивной силы необходимо проводить микроструктурный мониторинг, особенно при обследовании подкрановых балок, работающих в условиях повышенных температур или термоциклирования. По размерам зерен, наличию и расположению ликваций вредных примесей можно контролировать комплекс физико-механических свойств опасных сечений подкрановых балок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Закревский М.П., Москвичев В.В., Котельников В.С., Черняев А.П., Чабан Е.А.* Анализ предельных состояний подкрановых балок // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 3. С. 31-33.
2. *Крылов И.И., Тарасевич В.В.* Живучесть эксплуатируемых сварных подкрановых балок с усталостными повреждениями // Известия вузов. Строительство. 1998. № 2. С. 17-25.
3. *Выдрин В.Н., Зубко О.В.* Наиболее характерные дефекты и повреждения металлических эксплуатируемых подкрановых балок при проведении экспертизы промышленной безопасности // Символ науки: международный научный журнал. 2015. № 10-2. С. 102-109.
4. *Закревский М.П., Москвичев В.В., Котельников В.С., Черняев А.П., Чабан Е.А.* Анализ предельных

- состояний подкрановых балок // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 3. С. 31-33.
5. Корнилова А.В., Идармачев И.М., Тет Паинг, Чжо Заяр. Некоторые практические аспекты применения магнитных методов неразрушающего контроля и диагностики // Безопасность труда в промышленности. 2014. №3. С.50-53.
 6. Корнилова А.В., Идармачев И.М., Тет Паинг, Чжо Заяр. Методика определения ресурса штампового инструмента с применением магнитных методов неразрушающего контроля и диагностики // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2014. №5. С. 98-104.
 7. Schaeffler A.L. Constitution diagram for stainless steel weld metal. // Metal Progress. 1949. V. 56. P. 680-680B.
 8. Марочник сталей и сплавов. 4-е изд., переработ. и доп. / Ю.Г. Драгунов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. Ю.Г. Драгунова и А.С. Зубченко. М.: 2014. 1216 с.: илл.
 9. Корнилова А.В., Батарин Р.В., Галов Н.А., Выговский А.М., Тет Паинг. Применение магнитных методов неразрушающего контроля как способа экспресс-оценки прочностных свойств и остаточного ресурса металла// Производство проката. 2018. № 5. С. 31-37.
 10. Фейтуллаев А.Ю., Мазура В.Н., Петрова В.Ф., Гевлич С.О. Влияние длительной эксплуатации на структуру и свойства низкоуглеродистых и кремнемарганцевых сталей // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. № 23 (150). С. 103-105.
 11. Помазова А.В., Панова Т.В., Геринг Г.И. Влияние разнородности структуры на коррозионную стойкость наружной поверхности труб из углеродистой стали 20, применяемых в теплоэнергетике // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallургия. 2014. Т. 14. № 4. С. 37-44.
 12. РД 154 - 34.0 - 20.605 – 2002 Отраслевая система индивидуального мониторинга повреждений ответственных элементов оборудования, зданий и сооружений региональных центров "Живучесть стареющих ТЭС". Система нормативно-технических документов

КОНСТРУКТИВНАЯ НАДЕЖНОСТЬ КИРПИЧНОГО ЗДАНИЯ, НАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ

М.Н. Семенова¹, А.Л. Кришан², В.Л. Курбатов³, С.И. Рощина⁴

¹Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН),

²Магнитогорский Государственный Технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск,

³Северо-Кавказский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова, г. Минеральные Воды,

⁴Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г.Столетовых, г. Владимир,

¹lor267gg@yandex.ru

²kris_al@mail.ru

³kurbatov_bgtu@list.ru

⁴rsi3@mail.ru

Аннотация

Объектом обследования является нежилое здание административного назначения. В результате обследования было выявлено, что несущие конструкции находятся в ограниченном рабочем состоянии. Также были выявлены нарушения, имевшие место при проектировании, строительстве, ремонте или реконструкции здания. В ходе данного технического обследования проводились работы по определению прочностных характеристик строительных материалов несущих конструкций методами неразрушающего контроля. Класс прочности бетона определяли на основании прямых измерений прочности бетона неразрушающими методами. Также были определены прочностные характеристики кирпичной кладки с целью дальнейшего изменения назначения здания. Все работы по обследованию несущих конструкций, определению прочности материалов, проверочные расчеты выполнялись в соответствии с действующими нормативными документами. В работе был проведен анализ и установление вероятных причин появления дефектов и повреждений в конструкциях.

ВВЕДЕНИЕ

Здание построено в 1917 году. Объект обследования имеет в плане прямоугольную форму, общая площадь - 1093 м², высота здания составляет 13.659 м. Участок, на котором расположено здание, спланирован и благоустроен. Отмостка по периметру обследуемого здания - асфальтобетон. Состояние отмостки удовлетворительное. За время эксплуатации в здании были проведены работы по реконструкции, включающие надстройку строения мансардным этажом, а также замену отдельных участков перекрытий на новые, устройство проемов в существующих стенах. По результатам технического осмотра установлено, что на момент проведения осмотра здание не находилось в эксплуатации.

В результате обследования было выявлено, что стены здания и перегородки находятся в ограниченном рабочем состоянии. Физический износ стен составляет 40%, а износ перегородок - 45%. Металлические колонны каркаса обследуемого здания находятся в рабочем состоянии. При обследовании использовались как визуальный, так и визуально-инструментальный методы. Визуальным методом были определены дефекты и повреждения по внешним признакам. Размеры обследуемого здания, а также его отдельных конструкций и элементов определялись визуально-инструментальными методами. Также этим методом были измерены прочностные характеристики строительных элементов и конструкций.

Авторами также изучены отечественные и зарубежные исследования вопросов надежности несущих конструкций и определения прочностных характеристик ограждающих конструкций [1-7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследование здания в данной работе включало три этапа. В первую очередь проводились предварительные или иные визуальные и детальные или иные инструментальные исследования.

Первый этап называется подготовительным. Включает в себя изучение объекта изысканий, подбор и анализ проектно-технической документации, определение конструктивных и объемно-планировочных решений, ознакомление с результатами инженерно-геологических изысканий. Далее рабочая программа составляется на основании имеющегося технического задания. В программу работ были включены следующие пункты: объект технического осмотра, состав необходимой проектно-технической документации, этапы и объем работ, перечень необходимых инструментов для проведения работ по внешнему и внутреннему обследованию строительных конструкций. .

В рамках предварительного обследования здания проведен осмотр здания и его конструкций, выявлены дефекты и повреждения, проведены необходимые замеры и предварительно определена категория технического состояния здания. На рис. 1 показан фасад обследуемого здания.



Рис. 1. Фасад обследуемого здания

По результатам предварительного (визуального) осмотра фиксировались дефекты и повреждения, определялись причины возникновения недопустимых нагрузок. К причинам возникновения относятся: нарушения режима эксплуатации сооружений, ошибки проектирования, отклонения от проекта при возведении здания, предшествующих его реконструкции и ремонтных работах.

После этого определялись параметры дефектов и повреждений, рассчитывались фактические прочностные характеристики материалов несущих конструкций обследуемого здания.

Далее были измерены характеристики и параметры рабочей среды, присущие технологическому процессу в обследуемом здании, определены эксплуатационные нагрузки и воздействия, воспринимаемые обследуемыми строительными конструкциями, с учетом влияния деформаций грунтового основания.

В данной работе анализируются и устанавливаются вероятные причины дефектов и повреждений строительных конструкций. По результатам камеральной обработки полученных данных составлен итоговый технический отчет с выводами и выработаны

рекомендации по восстановлению и обеспечению требуемых показателей прочности и деформируемости конструкций обследуемого здания с рекомендуемой последовательностью работ, в случае их необходимости.

Для определения прочностных характеристик строительных материалов использовались приборы:

- ИПС-МГ4.04. Данный прибор предназначен для измерения прочности бетона методом ударного импульса.
- Beton Pro CONDTR0L. Данный прибор предназначен для измерения материалов каменной или кирпичной кладки.
- ОНИКС-ОС. Данный прибор предназначен для измерения определение прочности бетона методом отрыва со скалыванием.
- Ультразвуковой тестер УК – 1401. Данный прибор предназначен для измерения прочности бетона.

Тахеометрическая съемка конструкций обследуемого здания выполнена тахеометром типа «Sokkia Set-1X».

В результате технического осмотра здания было выявлено, что стены здания и его перегородки находятся в ограниченном рабочем состоянии, металлические колонны каркаса здания - в рабочем состоянии. Общие виды этих конструкций показаны на рисунках 2 и 3.



Рис. 2. Общий вид металлической колонны круглого сечения \varnothing 170-190 мм на 1-ом этаже обследуемого здания



Рис. 3. Общий вид металлических колонн круглого сечения \varnothing 170-190 мм на 2-ом этаже обследуемого здания

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проверка прочности материалов строительных конструкций неразрушающим методом ударного импульса производилась с помощью прибора «Beton PRO Condrol». Общий вид прибора представлен на рисунке 4.



Рис.4. Общий вид прибора «Beton PRO Condrol»

Отметим, что оценка прочности строительных конструкций здания производилась неразрушающим экспресс-методом ударного импульса с помощью прибора «Beton PRO Condrol». Процесс измерения прочностных характеристик кирпича керамического полнотелого кладки несущих стен здания представлен на рисунке 5.



Рис. 5. Измерение прочностных характеристик кирпича керамического полнотелого кладки несущих стен обследуемого здания

Прибор типа «Beton PRO Condrol» также применяют для определения прочности бетона, раствора и строительной керамики методом ударного импульса в соответствии с ГОСТ 22690-88 ГОСТ 18105-86 для оценки качества конструкций зданий и сооружений.

С помощью этого прибора можно оценивать физико-механические свойства различных строительных материалов в образцах и изделиях, такие как упругопластические свойства, прочность, твердость, а также определить неоднородность материала и участки некачественного уплотнения.

Результаты определения прочностных характеристик материалов строительных конструкций анализируются и сводятся в табличную форму.

По результатам испытаний можно отметить, что средняя прочность керамического полнотелого кладочного кирпича фундаментов стен и колонн обследуемого здания составляет 8,3 МПа, что соответствует марке М75, а керамического полнотелого кладочного кирпича несущих стен обследуемого здания - 7,2 МПа, что соответствует марке М75. При этом средняя прочность полнотелой керамической кирпичной кладки

кирпичных арок составляет 7,5 МПа (марка М75) а цементно-песчаного раствора кладки стен и перекрытий обследуемого здания - 5,7МПа, что соответствует марке М50.

Прочность материала определяли по заданным в программном обеспечении прибора градуировочным зависимостям, позволяющим определять прочность в зависимости от вида контролируемого изделия (балка, колонна, фундаментный блок, наружная стена, внутренняя стена, плита, ригель, ферма), от вида материала (бетон, кирпич, раствор), в зависимости от вида бетона и крупного заполнителя (тяжелый бетон на граните, известняке, гравии, гранулированном шлаке, мелкозернистом бетоне, керамзитобетоне, шлакобетон, силикатный кирпич, керамический кирпич), от расчетного возраста контролируемого бетона, от вида термической обработки бетона (нормального твердения или бетона, подвергнутого термической обработке).

Оценка прочности материалов строительных конструкций обследуемого здания была выполнена по формуле (1) в соответствии со средним значением прочности участков:

$$R' = (\sum R_i)/n \quad (1)$$

где:

R_i – прочность материала на i -ом участке;

n - количество участков.

Количество контролируемых участков определялось согласно нормативным документам. После чего вычислялось среднеквадратическое отклонение согласно формуле (2):

$$\sigma = \sqrt{\sum(R' - R_i) \times 2/(n - 1)} \quad (2)$$

Коэффициент вариации рассчитан по формуле (3):

$$V = \sigma/R \quad (3)$$

Далее согласно формуле (4) была определена условная марка кирпича M по прочности на сжатие:

$$M = R' \times (1 - 1,64 \times v) \quad (4)$$

Условный класс бетона B по прочности на сжатие определён согласно формуле (5):

$$B = R' \times (1 - 1,645 \times V) \quad (5)$$

ВЫВОДЫ

На основании полученных результатов обследования возможной дальнейшей эксплуатации наружных стен и фундаментов здания, сохранившихся в результате работ по реконструкции, можно сделать следующие выводы и предложить следующие рекомендации:

1. Кладку наружных стен рекомендуется очистить в местах некачественной кладки, наличия трещин и разрушения отдельных кирпичей.

2. Рекомендуется восстановить кладку стен из полнотелого глиняного кирпича марки М100, на цементном растворе М50 с перевязкой при существующей кладке, заделать швы кладки, выполнить расширение и заделку имеющихся трещин в кирпичной кладке. стен раствором, состоящим из цемента и латексной эмульсии, или полимерцементным раствором типа «Пенетрон» или «Эмазо».

3. Поврежденные влагой участки стен рекомендуется просушить.

4. Кирпичную кладку стен, поврежденных влагой, рекомендуется ремонтировать методом кирпичной переборки.

5. Рекомендуется выполнить гидрофобизацию наружных стен для защиты кирпичной кладки от влаги;

6. При увеличении нагрузок на существующие фундаменты произвести перерасчет на расчетные нагрузки, при этом необходимо учитывать изменение физико-химических свойств грунтов основания. По результатам расчета при необходимости произвести усиление или реконструкцию фундаментов на основании отдельно разработанного проекта. Контроль за выполнением рекомендаций настоящего заключения должен

осуществлять ответственный за эксплуатацию здания, назначаемый приказом по организации. Все ремонтно-строительные работы должны выполняться с соблюдением техники безопасности в соответствии с требованиями нормативных документов, а также с соблюдением соответствующих норм и технологий. Все работы по ремонту здания должны выполняться по специально разработанному проекту специализированными (аккредитованными) организациями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Римшин В.И., Варламов А.А. Модели поведения бетона. общая теория деградации
2. Римшин В.И., Кецко Е.С., Трунтов П.С. Большой строительный словарь Москва, 2022. Том 2 П-Я
3. Римшин В.И., Кецко Е.С., Трунтов П.С. Большой строительный словарь Москва, 2022. Том 1 А-О
4. Курбатов В.Л., Римшин В.И., Волкова С.В., Шумилова Е.Ю. Управление, эксплуатация и обслуживание многоквартирного дома Минеральные воды, 2022.
5. Римшин В.И., Шубин И.Л., Ерофеев В.Т., Аветисян А.А. Автоматизация жизненного цикла зданий при реконструкции и капитальном ремонте Жилищное строительство. 2022. № 7. С. 6-12.
6. Римшин В.И., Семенова М.Н., Шубин И.Л., Кришан А.Л., Астафьева М.А. Исследования несущей способности внецентренно сжатых сталебетонных колонн Строительные материалы. 2022. № 6. С. 8-14.
7. Кришан А.Л., Римшин В.И., Астафьева М.А., Сагадатов А.И., Семенова М.Н., Ступак А.А. Прочность и деформативность сжатых сталебетонных элементов квадратного сечения. БСТ: Бюллетень строительной техники. 2022. № 6 (1054). С. 16-18.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКИ ВЫПОЛНЕННОГО ОБЪЕМА СКРЫТЫХ РАБОТ В РАМКАХ РЕМОНТА ФАСАДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЗДАНИЯ

А.Д. Филимонова¹, С.В. Марков², В.И. Римшин³, В.Е. Румянцева⁴

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

⁴Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет»,

¹*filimonovanas559@gmail.com*

²*vss5v@mail.ru*

³*V.Rimshin@mgsu.ru*

⁴*varrym@gmail.com*

Аннотация

Стоит отметить в пользу метода отделки фасада по системе БИРСС, что восстановление облицовочного слоя плитки не представляется технически возможным, ввиду мелкогабаритности деталей облицовочного материала, а также нецелесообразности замены отдельными участками самой плитки, которые бы не устраняли главную проблему – сырость, образование плесени и грибка на стенах внутри квартир собственников жилых домов. Технология БИРСС предусматривает несколько этапов ремонта фасада: подготовительные (скрытые) работы, расчистка и восстановление граней межпанельных швов с последующим устройством теплоизоляционного материала типа «Вилатерм», восстановление панелей здания и нанесение полимерцементных отделочных материалов. Самым дорогостоящими в данной системе являются подготовительные (скрытые) работы.

ВВЕДЕНИЕ

Внешний вид зданий и сооружений зачастую главным образом влияет на облик городской застройки. В рамках региональной программы капитального ремонта жилых зданий города Москвы определен перечень услуг по проведению капитального ремонта зданий, в который входит ремонт фасада жилых зданий [1]. На сегодняшний день существует несколько способов отделки фасада в рамках капитального ремонта зданий: оштукатуривание с последующей окраской или простая окраска, облицовка фасада здания керамическими плитками, промывка фасадов с последующей гидрофобизацией участков или всего фасада в целом. Стоит отметить, что устройство вентилируемых фасадных систем как способ отделки фасада жилого здания является дорогостоящим, и на сегодняшний день не обуславливается начальной предельной стоимостью заключаемого договора на выполнение услуг по капитальному ремонту МКД, а следовательно, не выполняется в рамках ремонта жилых зданий города Москвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методы проведения ремонтных работ по фасаду жилого здания напрямую зависят от конструктивного решения рассматриваемого фасада [1-12], вопросы оформления фасадов рассматривались также в зарубежной литературе [13-16]. В данной статье рассматривается проектное решение ремонта фасадов блочных и панельных зданий. За последние годы инновационным методом по отделке фасадов является система отделки БИРСС. Зачастую БИРСС используется как способ ремонта фасада панельных зданий, на стенах которых выполнено защитно-декоративное покрытие из мелкогабаритной керамической плитки. В основном это многоэтажные постройки 1960-х годов. Такой вид облицовки со временем отслаивается и приводит к разрушению защитного слоя панелей здания, арматурного каркаса и намокания теплоизоляционного слоя межпанельных швов здания.

Под скрытыми работами стоит понимать строительные или монтажные работы, которые не могут быть визуально определены и/или зафиксированы приемочной комиссией при сдаче системы или объекта в целом в эксплуатацию готовых зданий и сооружений. Все проводимые скрытые работы перед проведением следующих этапов ремонта здания должны быть зафиксированы специальной приемочной комиссией с последующим оформлением акта освидетельствования скрытых работ, согласно регламенту [2]. В ряд подготовительных (скрытых) работ по системе БИРСС входят: простукивание мелкоформатной плитки стен фасада на предмет отслоившейся плитки, шлифовка или нанесение насечек углошлифовальными машинками, промывка стен фасада, расчистка межпанельных швов с последующим восстановлением геометрии граней панелей швов и устройством теплоизоляционного материала, заделка ремонтными составами выбоин стеновых панелей здания, устройство армирующего слоя панелей [3]. Также, в зависимости от конкретных способов устранения выявленных дефектов, могут выполняться работы по гидроизоляции и антигрибковой защите строительных конструкций.

Для выполнения ремонтных работ фасада здания необходимо наличие разработанной проектно-сметной документации, которая включает разработку технического заключения состояния конструкций с предложенным перечнем ремонтных работ по данному объекту, разработанных архитектурных и конструктивных решений с указанием объемов демонтажных и монтажных работ, а также составленной сметы с полным перечнем работ на проведение капитального ремонта фасада здания.

Сущность рассматриваемого метода оценки фактически выполненного объема скрытых работ в рамках ремонта фасада при капитальном ремонте здания заключается в проверке процентного соотношения проектного объема скрытых работ к объему фактически выполненных и визуально определяемых работ по ремонту фасада. Разберем данную методику на примере технологии отделки фасадов по системе БИРСС. Объем работ по простукиванию и промывке фасада составляет из площади фасада, покрытого мелкоформатной плиткой, которая в свою очередь определяется как ремонтируемая площадь фасада за вычетом всех конструктивных элементов без защитно-декоративного слоя в плитке. Объем работ по шлифовке стен фасада и устройству заделки выбоин определяется как вся площадь простукивания или промывки фасада.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для установления фактически выполненных объемов скрытых работ необходимо сначала обратиться к проектным данным. Допустим, ремонтируемая площадь фасада заданного здания, согласно разработанному проекту, равна 7 000 м². Согласно разработанному техническому заключению, суммарная площадь крышных надстроек и оконных откосов здания, которые не были порыты мелкоформатной плиткой, равна 900 м². Из этого следует, что площадь конструктивных элементов фасада, покрытых защитно-декоративным слоем из мелкоформатной плитки равна 6 100 м². По проекту площадь отслоившейся плитки (выбоины) составляет 1 525 м², следовательно объем по шлифовке стеновых панелей фасада составляет 4 575 м². При приемке работ по капитальному ремонту фасада в акте формы КС-2 подается объем по простукиванию и промывке стен фасада – 7 000 м², и объем по шлифовке стеновых панелей – 4 780 м², по устройству заделки выбоин – 1 612 м². Для наглядности определенных объемов по перечисленным ремонтным работам составлена таблица 1.

Однако, следует учитывать, что в общий объем по устройству-декоративно окрасочного слоя включен объем по окраске всех конструктивных элементов фасада, следовательно, для определения фактической площади частей фасада с защитно-декоративным слоем плитки необходимо вычесть все фактические площади (по результатам выверки фактических объемов) конструктивных элементов без плитки. Для рассматриваемого примера определим фактические площади частей фасада без покрытия

мелкоразмерной плитки: крышные надстройки – 500 м², суммарная площадь оконных откосов – 400 м².

Таблица 1. Процентное соотношение подготовительных (скрытых) работ от общей площади ремонтируемого фасада

	Объем согласно ПСД		Объем согласно акту ф. КС-2	
	м ²	%	м ²	%
Простукивание стен фасада	6100	100	7000	115
Промывка стен фасада	6100	100	7000	115
Шлифовка стеновых панелей фасада	4575	75	4780	78,3
Устройство заделки выбоин стеновых панелей фасада	1525	25	1612	26,4
Общая площадь конструктивных элементов в мелкоразмерной плитке	6100	100	6100	100

Исходя из полученных процентных соотношений получаем превышение объемов по простукиванию и промывке стен фасада на 15%; по шлифовке стеновых панелей и устройству заделки выбоин, чей суммарный процент не должен превышать 100% ремонтируемой площади фасада в плитке, получаем превышение в 4,7 %.

После проведенных расчетов следует отметить несколько важных моментов. Данный метод расчета фактически выполненных скрытых работ позволяет в первую очередь отследить отклонения от проекта в ходе производства работ для предотвращения рисков завышения стоимости фактически оплаченных работ, а также для своевременного внесения изменения в проект. Проектируемая площадь заделки выбоин и шлифовки может отличаться от фактической, так как в процессе простукивания стен фасада отслоившееся плитка может отпадать в большем или меньшем объеме, чем изначально было предусмотрено проектом. Следовательно, необходимо внести правки в проект и надлежащим образом оформить исполнительную документацию.

ВЫВОДЫ.

Таким образом важно подчеркнуть, что процесс проведения ремонтных работ напрямую зависит от качества разработанного проекта и своевременного внесения правок в проект в ходе производства работ по капитальному ремонту фасадов здания, в частности с применением новых технологий и материалов.

ЛИТЕРАТУРА.

1. <https://www.mos.ru/city/projects/kapremont>
2. РД-11-02-2006 «Требования к составу и порядку ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства и требования, предъявляемые к актам освидетельствования работ, конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения».
3. АО «Опытный завод сухих смесей» - «Технологические рекомендации на проведение работ по капитальному ремонту фасадов панельных многоквартирных жилых домов облицованных керамической и глазурованной плиткой материалами ТМ «БИРС» - 38 с.
4. Римшин В.И., Кецко Е.С., Трунтов П.С. Большой строительный словарь
5. Том 1 А-О Москва, 2022
6. Римшин В.И., Кецко Е.С., Трунтов П.С. Большой строительный словарь

7. Том 1 П-Я Москва, 2022
8. *Римшин В.И., Семенова М.Н., Сафина Р.И.* Обследование незавершенного строительства здания бытового обслуживания В сборнике: Эффективные строительные конструкции: теория и практика. сборник статей XXII Международной научно-технической конференции. Под редакцией Н.Н. Ласькова. Пенза, 2022. С. 127-131.
9. *Сафина Р.И.* Реконструкция здания для современного использования в г. Москве В сборнике: Дни студенческой науки. Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института инженерно-экологического строительства и механизации (ИИЭСМ) НИУ МГСУ. Москва, 2022. С. 197-200.
10. *Римшин В.И., Шубин И.Л., Ерофеев В.Т., Аветисян А.А.* Автоматизация жизненного цикла зданий при реконструкции и капитальном ремонте. Жилищное строительство. 2022. № 7. С. 6-12.
11. *Курбатов В.Л., Римшин В.И., Шумилова Е.Ю.* Технология и организация производства строительного комплекса. Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство» / Минеральные Воды, 2021.
12. *Кришан А.Л., Римшин В.И., Астафьева М.А.* Сжатые трубобетонные элементы. теория и практика Москва, 2020.
13. *Римшин В.И., Трунтов П.С., Кузина И.С., Кецо Е.С.* Аналитическая оценка технического состояния перекрытий паркинга для дальнейшего их усиления
14. Университетская наука. 2020. № 1 (9). С. 33-35.
15. *Варламов А.А., Римшин В.И.* Модели поведения бетона. общая теория деградации
16. для студентов инженерно-строительных факультетов, получающих образование по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» / Москва, 2019. Сер. Научная мысль
17. *Римшин В.И., Кузина Е.С.* Остаточный ресурс силового сопротивления конструкций поперечному изгибу при прочности нормальных сечений В сборнике: Актуальные вопросы архитектуры и строительства. материалы Восемнадцатой международной научно-технической конференции: в 2 частях. 2019. С. 120-125.
18. *Rimshin V.Iv., Kurbatov V.L., Erofeev V.T., Ketsko E.S.* Degradation damages survey of the silt reservoir structures Building and Reconstruction. 2022. № 2 (100). С. 65-74.
19. *Martinov V., Lukin M., Rusak K., Rimshin V., Ivaniuk A.* Influence of different types of aggregates on the structural properties of fiber-reinforced concrete Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 403 LNNS. С. 1467-1476.
20. *Neverov A.N., Ketsko E.S., Truntov P.S., Rimshin V.I.* Calculating the strengthening of construction structures before the reconstruction of the building Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Т. 182. С. 173-179.
21. *Rimshin V.I., Kuzina E.S., Shubin I.L.* Analysis of the structures in water treatment and sanitation facilities for their strengthening В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019. 2020. С. 012074.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ В ЗДАНИЯХ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Д.С. Филимонов

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
daniilo.filimonov@yandex.ru*

Аннотация

Обеспечение надежности зданий и сооружений в сейсмически опасных районах остается одним из актуальных вопросов в современном строительстве. Наиболее опасная ситуация возникает при строительстве зданий и сооружений в условиях высокой сейсмической активности и залегании мерзлых грунтов в основании. Территориями с таким сочетанием являются Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, являющиеся перспективными для страны, т.к. здесь ведется добыча полезных ископаемых и ценных природных ресурсов, среди которых залежи нефти, газа и большого количества редких металлов, а также драгоценных камней. В статье приведены примеры различных систем сейсмоизоляции, являющиеся наиболее выгодными и эффективными решениями по повышению сейсмостойкости зданий и сооружений. Апробация результатов исследования рассмотрена на примере жилого здания, спроектированного для районов вечной мерзлоты в фундаментные конструкции которого включена стационарная сейсмоизоляция в виде скользящего пояса. По результатам расчётно-теоретического исследования получены данные о напряжениях в элементах конструкций, при действии сейсмической нагрузки различной интенсивности на здание. Выявлено, что использование скользящего пояса снижает напряжения, возникающие в элементах конструкций примерно 2 раза, тем самым повышая сейсмостойкость объекта.

ВВЕДЕНИЕ

Около 60% страны находится в северной строительно-климатической зоне, среди которых Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, районы, которые нуждаются в создании должных условий и развитии инфраструктуры для дальнейшего освоения новых территорий по добычи нефти, угля, природного газа, меди, различных металлов и других полезных ископаемых. Стоит отметить, что вышеперечисленные территории обладают суровыми климатическими условиями, среди которых: низкие отрицательные температуры, сложные инженерно-геологические условия и рельеф, в некоторых районах выражена высокая сейсмическая активность. Строительство в таких районах осуществляется по нескольким принципам: I принцип, подразумевающий сохранение вечномёрзлого грунта в мерзлом состоянии и II принцип, где грунты основания используются в оттаявшем состоянии [1]. В районах, где наблюдаются вечномёрзлые грунты и наличие сейсмичности, предпочтение стоит отдавать I принципу, т.к. в качестве фундаментов служит высокий свайный ростверк с проветриваемым подпольем, сваи выступают в роли сейсмоизоляции, но данный эффект возможен, лишь, при возникновении землетрясений небольшой интенсивности. При возможном возникновении землетрясений высокой балльности в конструкцию здания необходимо вводить систему сейсмоизоляции. Внедрение систем сейсмоизоляции в конструктивные решения зданий и сооружений различного назначения являются острой и актуальной темой, т.к. процент жертв при землетрясении, в отличии от жертв в других стихийных катастрофах, довольно высок и составляет около 60%.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Как уже отмечалось выше, территории богатые ценными природными ресурсами находятся в сложных природных и грунтовых условиях. Так, к территориям с наличием вечной мерзлоты и сейсмической активностью относятся:

- Дальний Восток – Амурская область, Забайкальский край, Камчатский край, Магаданская область, Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия);
- Восточная Сибирь – Красноярский и Забайкальский края, Иркутская область, Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия);
- Западная Сибирь.

В результате чего строительство в данных районах имеет свою специфику и требует определенного системного подхода.

Традиционным методом повышения сейсмостойкости зданий является – увеличение сечения и жёсткости несущих элементов конструкций, но на настоящий момент данный метод не совсем эффективен, т.к. значительно увеличивает материалоемкость и вес объекта, что приводит к увеличению сейсмической нагрузки, а так же значительно удорожает строительство. В результате этого, в конструкцию зданий и сооружений стали вводить специальные элементы сейсмоизоляции, позволяющие гасить колебания от инерционной нагрузки. Наиболее подробно классифицировать мероприятия по повышению сейсмостойкости с использованием специальных элементов, можно используя блок-схему изображённую на рисунке 1.

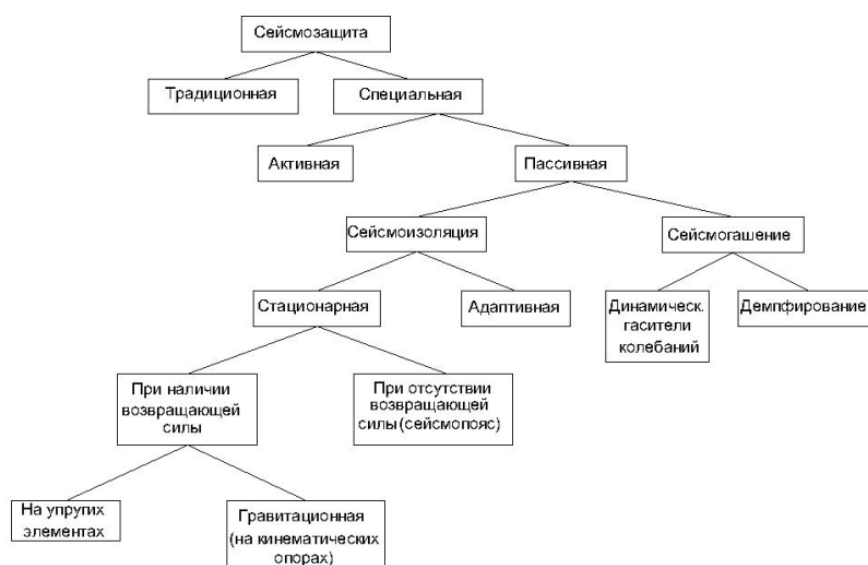
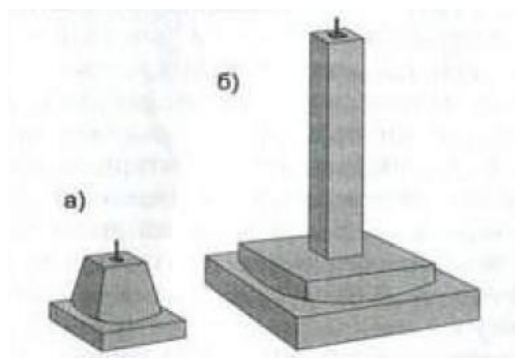


Рис. 1. Классификация систем сейсмозащиты [с.56, 2]

Сейсмоизоляция делится на стационарную, которая сохраняет сейсмические воздействия, к таким системам относятся:

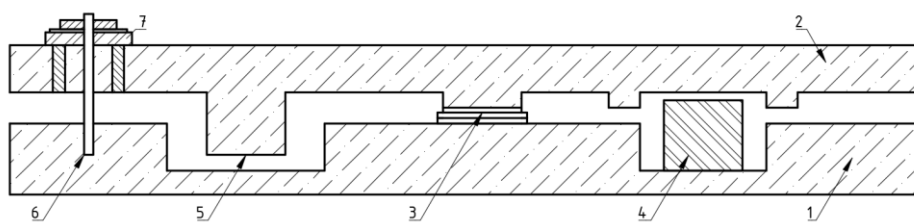
- Кинематические фундаменты, изображенные на рисунке 2, работа которых заключается в смещении опор относительно вышерасположенных конструкций, при сейсмическом воздействии, что в свою очередь препятствует накоплению повреждений при многократных или длительных колебаниях.



а – тумба; б – стойка

Рис. 2. Формы кинематических фундаментов [с.8, 3]

- Сейсмоизолирующий скользящий пояс, представленный на рисунке 3, где возникающая при действии землетрясения энергия, рассеивается при трении скольжения. Для осуществления данного процесса в конструкции пояса предусматриваются пластины из фторопласта и нержавеющей шлифованной стали. Данная система сейсмоизоляции позволяет снизить расчётную сейсмичность здания на 1 балл и уменьшить сметную стоимость на 3-6% за счет экономии стали на 5-7% [п. 1.4, 4].



- 1 – верхняя обвязка фундаментов; 2 – ростверк; 3 – скользящая опора;
 4 – ограничитель горизонтальных перемещений;
 5 – жесткий ограничитель горизонтальных перемещений;
 6 – ограничитель вертикальных перемещений; 7 – вертикальный амортизатор

Рис. 3. Сейсмоизолирующий скользящий пояс [с. 24, 5]

- Резинометаллические опоры, конструкция которых представлена на рисунке 4.

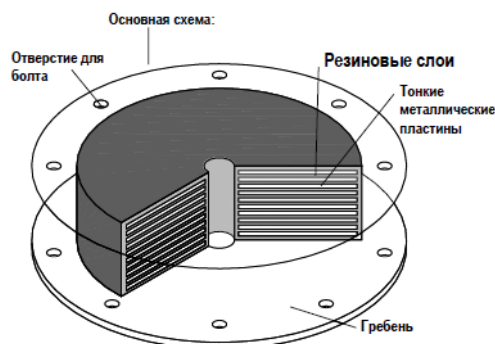
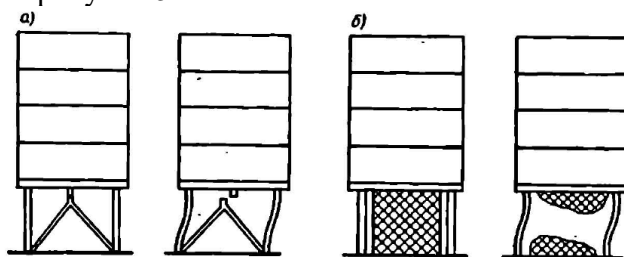


Рис. 4. Конструкция тонкослойных резинометаллических опор [с. 9, 6]

И на адаптивную, которая меняет свои динамические характеристики и приспосабливается к возникающим сейсмическим воздействиям, к таким системам относятся:

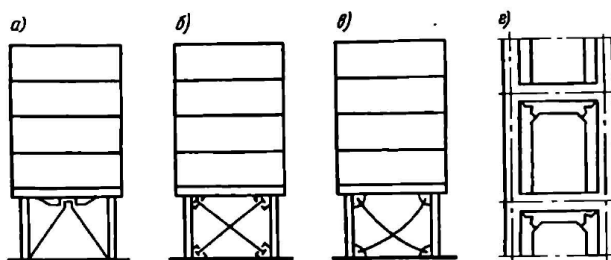
- Системы с выключающимися связями, в роли которых могут выступать бетонные шпонки, электросварные заклепки или же отдельные несущие конструкции, представленные на рисунке 5.



а – специальные выключающиеся элементы; б – разрушающиеся панели-связи

Рис. 5. Сейсмозащита зданий с помощью выключающихся связей [с. 132, 7]

- Системы с включающимися связями, представленные на рисунке 6.



а – упоры ограничители; б – упругие связи;
в – провисающие растяжки; г – жёсткие панели

Рис. 6. Сейсмозащита зданий с помощью включающихся связей [с. 132, 7]

Работа адаптивных систем подробно освещена в научных исследованиях Я. М. Айзенберга [8, 9, 10].

Далее рассмотрим эффективность работы элемента сейсмоизоляции в виде сейсмоизолирующего скользящего пояса.

В качестве объекта исследования использовалось крупнопанельное 5-ти этажное жилое здание, представленное на рисунке 7.

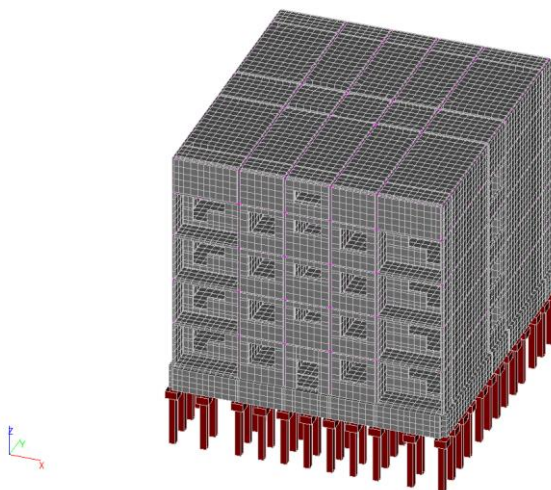


Рис. 7. Общий вид расчетной схемы объекта

Здание представляет собой одноподъездную секцию с четырьмя надземными жилыми этажами и одним техническим чердаком. Размеры здания в осях 17,4×19,2 м. Конструктивная схема – бескаркасная с продольно-поперечными несущими стенами (перекрёстная). В качестве наружных стен выступают трехслойные стеновые панели, однорядной разрезки размером на комнату, внутренние стены выполнены из

железобетонных стеновых панелей толщиной 160 и 200 мм. Пространственная жесткость обеспечивается совместной работой стен с плитами перекрытий сплошного сечения размером на комнату, толщиной 160 мм. Фундаменты объекта, в связи особенностью строительства на вечномёрзлом основании запроектированы свайными с высоким ростверком и проветриваемым подпольем. Для гашения действия сейсмических сил в конструкции фундамента предусматриваются элементы сейсмоизоляции – скользящий пояс, конструкция которого изображена на рисунке 8.

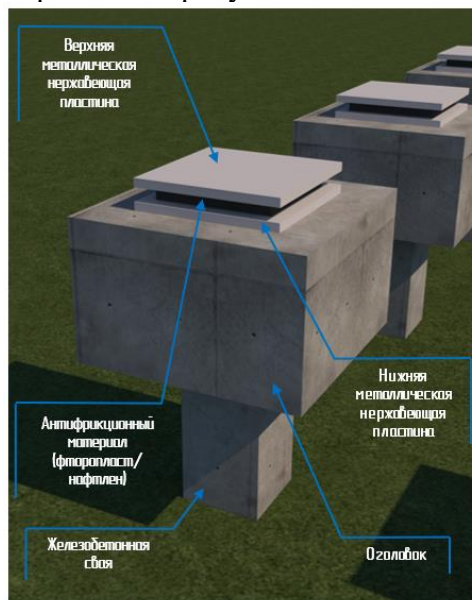


Рис. 8. Модель свайного фундамента с элементом сейсмоизоляции

В данном варианте скользящий пояс монтируется между оголовками свай и ростверком здания и состоит из пластин фторопласта [11] (либо низкофрикционная ткань – нафтлен) нержавеющей шлифованной стали.

Расчет объекта производился с помощью программного комплекса (ПК) SCAD-Office основанный на методе конечных элементов, посредством моделирования расчетной схемы без учета сейсмоизоляции и с учетом сейсмоизоляции. Результаты расчета представлены ниже.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании выполненного расчёта (ПК) SCAD-Office значения максимальных напряжений, возникающих в элементах конструкций, сведены в общую таблицу 1.

Таблица 1. Напряжения в элементах конструкций от интенсивности землетрясения

Балльность землетрясения	Максимальные напряжения в элементах, кН/м ²			
	+N _x	-N _x	+N _y	-N _y
Без учета сейсмоизоляции				
7	1625,1	-1633,6	2323,1	-2321,4
8	3363,5	-3381,1	4776,2	-4772,9
9	6726,9	-6762,2	9552,4	-9545,7
С учетом сейсмоизоляции				
7	967,5	-972,7	1382,4	-1381,7
8	1935	-1945,4	2764,9	-2763,3
9	3870	-3890,9	5529,7	-5526,6

Анализируя данные из таблицы, выявлено, что использование сейсмоизоляции в виде скользящего пояса существенно снижает напряжения в элементах, примерно в 2 раза, что говорит об эффективной работе сейсмоизоляции, чтобы повысить сейсмостойкость и безопасность здания и избежать его разрушения.

ВЫВОДЫ

Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений является первостепенной и актуальной задачей. Системы защиты объектов в виде сейсмоизоляции, принципы которой реализованы с помощью различных конструктивных решений, широко применяемых на территории России и за рубежом, являются эффективным решением, по снижению воздействия сейсмической нагрузки на объекты, обеспечивая должные и безопасные условия для их эксплуатации. Реализация работы сейсмоизоляции проверена в ПК SCAD-Office на примере жилого здания, в фундаменте которого встроены элементы сейсмоизоляции в виде скользящего пояса. Установлено, что введение в конструкцию здания скользящего пояса, позволяет повысить несущую способность объекта при сейсмических нагрузках примерно в 2 раза, повышая тем самым его сейсмостойкость и снижая вероятность разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах = Soil bases and foundations on permafrost soils: свод правил: издание официальное: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. № 915/пр и введен в действие с 1 июля 2021 г.: введен впервые: Дата введения 2021-07-01 / разработан Акционерным обществом "НИЦ "Строительство" - Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова (НИИОСП им. Н. М. Герсеванова). – Текст: электронный // Электронный фонд нормативной и технической литературы. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659326> (дата обращения 10.12.2022). – Режим доступа: свободный.
2. Арутюнян А. Р. Современные методы сейсмоизоляции зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – № 3. – С. 56-60.
3. Черепинский Ю. Д. Строительство на кинематических фундаментах: сборник статей / Ю. Д. Черепинский – Москва : Blue Apple, Москва, 2009. – 49 с.
4. Рекомендации по проектированию зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом и динамическими гасителями колебаний / ЦНИИСК им.Кучеренко Госстроя СССР. - М., 1984 год.
5. Барахтенко А. С., Дмитриева Т. Л. Сейсмическая изоляция конструкций и проблемы ее использования // Молодежный вестник ИРГТУ. – 2020. – № 4 – С. 22-27.
6. Бегалиев У. Т. Резинометаллические опоры для сейсмозащиты зданий и сооружений // Материаловедение, журнал. – 2016. – № 1 – С. 7-13.
7. Поляков, В. С. Современные методы самозащиты зданий : учебник / В. С. Поляков, Л. Ш. Килимник, А. В. Черкашин. – Москва : Стройиздат, 1989. – 320 с.
8. Айзенберг, Я. М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов / Я. М. Айзенберг – Москва : Стройиздат, 1976. – 232 с.
9. Айзенберг, Я. М. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты / Я. М. Айзенберг, М. М. Деглина, Х. Н. Мажиев и др. – Москва : Наука, 1983. – 141 с.
10. Айзенберг, Я. М. Сейсмостойкость и адаптация к сейсмическим воздействиям сооружений с выключающимися связями : специальность 05.23.01 «Основания и фундаменты» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Айзенберг Яков Моисеевич ; Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В. А. Кучеренко. – Москва, 1972. – 30 с.
11. ГОСТ 10007-80 Фторопласт-4. Технические условия = Polytetrafluoroethylene. Specifications: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 17.04.80 № 1735 : введен впервые : Дата введения 1981-07-01 / разработан Министерством химической промышленности. – Текст: электронный // Электронный фонд нормативной и технической литературы. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200020654> (дата обращения 10.12.2022). – Режим доступа: свободный.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЖИВУЧЕСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТРЕЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ ЗАПРОЕКТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

А.В. Заев¹, А.В. Мозгов², Н.Б. Андросова³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,

¹AlexVZj@yandex.ru

¹mozgov322@gmail.com

¹ramia84@rambler.ru

Аннотация

Рассмотрена задача о неравновесных и нелинейных процессах при оценке параметра экспозиции живучести железобетонных конструктивных систем в запредельных состояниях. Предложено определение понятия «экспозиция живучести» для количественной оценки потенциала живучести. Расчетная модель для определения параметра экспозиции живучести базируется на обобщении известной связи между скоростью изменения текущего относительного дефицита напряженно-деформированного состояния железобетона по отношению к каждому, фиксированному времени, значению для описания во времени неравновесных процессов силового сопротивления конструкционных материалов в зависимости от режима и уровня нагружения.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время вопросами живучести конструктивных систем занимается достаточно большое количество ученых. Авторами научных работ в области живучести и конструктивной безопасности даны некоторые понятия и определения. Например, все известные определения термина живучести [1,2,3] подразумевают оценку живучести при неизменных начальных условиях, т.е. для вновь проектируемых конструкций, живучесть которых рассчитывается без учета эксплуатационного накопления повреждений и, соответственно, изменений несущей способности сечений конструктивных элементов во времени при различной величине эксплуатационной нагрузки и режимах ее приложения. В тоже время профессора В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов, А.Г. Тамразян понятие живучести связывают с длительными неравновесными процессами силового сопротивления конструктивных систем [4,5]. В настоящий момент крайне мало экспериментально-теоретических исследований по оценке потенциала живучести железобетонных конструктивных систем во времени с учетом накопления повреждений неравновесного характера.

Для учета этих особенностей эксплуатируемых конструкций при расчете реконструируемых объектов в [4] предложено, наряду с понятием «живучесть», ввести дополнительно понятие «экспозиция живучести», под которым подразумевается при неравновесной постановке задачи (наложение во времени деформаций ползучести и коррозионных повреждений) продолжительность сохранения потенциала живучести строительной системы во времени разрушительным воздействиям агрессивной среды с выключением из системы конструктивных элементов, ответственных за геометрическую неизменяемость сооружения.

Введение этого понятия позволяет производить защиту конструктивной системы от прогрессирующего обрушения для реконструируемых зданий и сооружений, в которых при их эксплуатации появились деформации ползучести и коррозионные повреждения. При этом, следуя [4], должен быть выполнен расчет по оценке режимных неравновесных процессов деформирования железобетонных конструктивных систем во времени.

В данной работе дан алгоритм расчета потенциала живучести эксплуатируемых железобетонных стержневых систем с учетом неравновесных процессов.

МЕТОД ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ЖИВУЧЕСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СТЕРЖНЕВОГО ЭЛЕМЕНТА СТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ

Неравновесные процессы силового сопротивления бетона, эволюционирующие во времени, имеют силовой и несиловой характер происхождения. Неравновесные процессы силового происхождения характеризуются полными деформациями ползучести.

В теории силового сопротивления конструкций профессорами В.М. Бондаренко и Н.И. Карпенко предложено внестадийное описание развития во времени неравновесных процессов силового сопротивления твердых тел из конструкционных материалов в зависимости от режима и уровня нагружения [6]. Эта модель является нелинейным обобщением известной классической связи между скоростью изменения текущего относительного дефицита величины исследуемого фактора напряженно-деформированного состояния твердого тела по отношению к его каждому фиксируемому во времени значению:

$$\frac{d(\Delta c)}{dt} = -\alpha \cdot [\Delta c]^m, \quad (1)$$

где $\Delta c = (C_f - C) / C_f$ – текущие и предельные (фиксируемые) значения меры ползучести бетона; t – время наблюдения; α – эмпирический параметр скорости; m – эмпирический параметр уровня нагружения.

Неравновесные процессы силового сопротивления бетона во времени силового и среднего происхождения описываются единой математической моделью, предложенной В.М. Бондаренко [7] и основанной на зависимости (1). Она представляет собой специфическую предпосылку о феноменологическом единообразии кинетики неравновесных процессов продвижения повреждений и развития деформаций ползучести бетонов в виде нелинейного обобщения закона Гольдберга-Вааге:

$$\frac{d[\Delta L(t, t_0)]}{dt} = -\alpha \cdot [\Delta L(t, t_0)]^m, \quad (2)$$

где ΔL – относительный дефицит текущего значения исследуемого фактора неравновесного силового сопротивления $L(t, t_0)$ по отношению к предельному значению $L_{пр}$; t, t_0 – текущее время наблюдения, время начала наблюдения; α – эмпирический параметр скорости изменения ΔL ; m – эмпирический параметр нелинейной связи между значением дефицита ΔL и скоростью его изменения во времени.

Важно отметить, что соотношение (2) определяет константность режимных, термодинамических и физико-химических факторов силового сопротивления. Будем полагать, что это соотношение применимо для учета неравновесных процессов и при анализе потенциала живучести железобетонных конструктивных систем каркасов зданий при особом воздействии. При таком воздействии в элементах конструктивной системы из железобетона помимо догружения, вызванного статическим перераспределением силовых потоков по альтернативным путям передачи нагрузки, возникнут дополнительные динамические догружения [8]. Для определения усилий в элементах рамы с учетом их динамического догружения в данной работе использован подход: квазистатический метод в постановке, предложенной Г.А. Гениевым [9,10].

Если для расчета экспозиции живучести принять параметр обобщенной нагрузки λ_n , то экспозиция живучести конструктивной системы при ее нагружении может быть описана зависимостью « $\lambda_n - M^*(t)$ » приведенной на рисунке 1 для произвольного сечения k статически неопределимой балки заземленной на опорах и нагруженной распределённой нагрузкой.

График зависимости «параметр живучести – момент» (« $\lambda_n(t) - M^*(t)$ »), представленный на рисунке 1, рассматриваемой конструкции балки отражает развитие неравновесных нелинейных процессов ползучести во времени при анализе потенциала живучести рассматриваемого изгибаемого железобетонного элемента заземленной балки при запроектном воздействии.

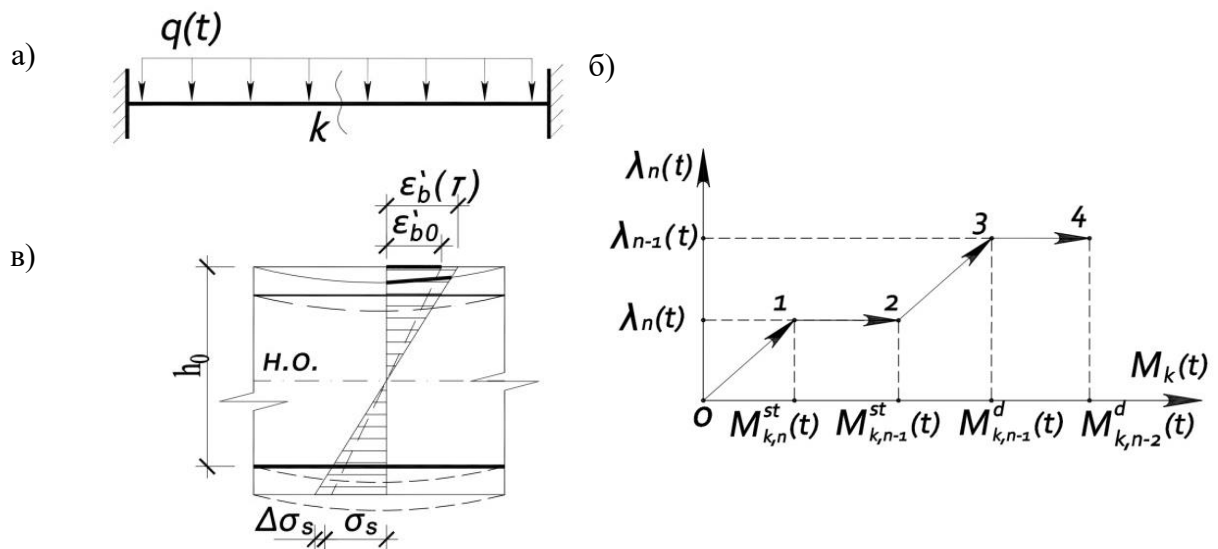


Рис. 1. К оценке живучести жестко защемленной железобетонной балки: а – расчетная схема изгибаемого железобетонного элемента защемленной балки; б – график зависимости «параметр живучести – момент» (« $\lambda_n - M^*(t)$ ») для произвольного сечения k рассматриваемой конструкции балки; в – к определению изменения деформаций в сечении изгибаемого железобетонного элемента в процессе ползучести

Участок «0-1» графика характеризует нагружение (n)-раз статически неопределимой системы эксплуатационной нагрузкой. Участок «1-2» графика характеризует принятое состояние в наиболее напряженном сечении балки при длительном действии неравновесных процессов силового характера в виде ползучести бетона. Под действием постоянной длительной нагрузки $q(t)$ в момент приложения нагрузки $t=0$ сжатая зона в сечении железобетонного изгибаемого элемента укоротится на величину $\Delta \epsilon_1$, а относительные деформации будут равны в сжатом бетоне и сжатой арматуре $\epsilon_b(t)$ и $\epsilon_s(t)$ соответственно. Напряжения в бетоне сжатой зоны будут равны σ_b , в сжатой арматуре - σ_s (рисунок 1,в). Через определенный промежуток времени $t=\tau$ под влиянием ползучести фибровый слой сжатой зоны бетона еще укоротится на величину $\Delta \tau$. Но благодаря сцеплению бетона и арматуры при их совместной работе деформации одинаковы. Сжатая арматура укоротится на ту же величину, что и фибровый слой сжатой зоны бетона в сечении балки в силу неразрывности деформаций продольной арматуры и окружающего ее бетона, т.е.:

$$\epsilon_s(\tau) = \epsilon_b(\tau) = \sigma_b / E_b. \quad (11)$$

Но так как внешняя длительная нагрузка осталась неизменной, то для сохранения условий равновесия в сечении напряжение в бетоне должны уменьшиться до величины σ_{bt} . Равнодействующая усилий в сжатой зоне бетона снижается, а равнодействующая растягивающих усилий в арматуре увеличивается. В таких конструкциях важно отметить, что известный процесс смещения нейтральной оси, описанный в монографии В.М. Бондаренко [11], при развитии процесса ползучести во времени нагруженного изгибаемого железобетонного элемента, определяется снижением равнодействующих усилий в сжатой зоне бетона и увеличением равнодействующих усилий в арматуре. В результате через определенный промежуток времени $t=\tau$ в рассматриваемом наиболее нагруженном сечении балки момент достигает предельного значения и образуется пластический шарнир. Статическая неопределимость балки уменьшается на единицу. Если исчерпание предельного момента в сечении k произойдет хрупко (разрушение по хрупкому бетону), то балка получит динамическое догружение и, соответственно, увеличится параметр обобщенной нагрузки ($\lambda_{n-1}(t)$) и значение динамического момента

($M_{k,n-1}^d(t)$) (точка 3 на графике, рисунок 1,б). Если при этом в других сечениях балки не достигнуты значения предельных моментов возможно дальнейшее увеличение во времени экспозиции живучести $\lambda_n(t)$. Если же в другом сечении достигнуто предельное значение момента, то статическая неопределимость балки уменьшается на единицу и, соответственно, на графике получим точку 4.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Алгоритм для определения параметра экспозиции живучести железобетонной статически неопределимой конструктивной системы включает следующие этапы:

1. Определение усилий в элементах конструктивной системы на заданном уровне эксплуатационной нагрузки во времени.

2. Определение модулей деформаций элементов системы на заданном уровне загрузки и критериальные проверки достижения предельных усилий в зависимости от времени нагружения. В особом предельном состоянии можно допустить большее раскрытие трещин и развитие прогибов, а также частичное разрушение некоторых сечений, что противоречит действующим критериям предельных состояний, обеспечивающих эксплуатационную пригодность конструкций и здания, но исключает наступление геометрической изменяемости конструктивной системы в зоне возможного локального разрушения.

3. Определение наиболее напряженного сечения k в элементах конструктивной системы, в котором при приложении заданной нагрузки длительностью $t = \tau$ достигается предельное усилие (момент) и образуется первый пластический шарнир в исходной n -раз статически неопределимой конструктивной системе ($\lambda_n(t)$ на рисунке 1,б).

4. Критериальная проверка достижения предельных усилий в сечениях других элементов конструктивной системы.

5. Если хотя бы в одном сечении k других элементов достигается предельное усилие, соответственно, уменьшается статическая неопределимость системы $(n-2)$ -раз, то при вычисленном уровне экспозиции живучести $\lambda_n(t)$ производится определение параметра живучести $\lambda_{n-1}(t)$, $\lambda_{n-2}(t)$ и т.д.

ВЫВОДЫ

Предложенный алгоритм позволяет определить количественную оценку потенциала живучести железобетонных стержневых конструктивных систем эксплуатируемых зданий и сооружений. Важно, отметить, что при проектировании защиты железобетонных конструктивных систем зданий и сооружений от прогрессирующего разрушения и при построении вторичных расчетных схем необходимо учитывать предысторию длительного деформирования для более полного учета напряженно-деформированного состояния эксплуатируемых конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Райзер В.Д. К проблеме живучести зданий и сооружений // Строительная механика и расчет сооружений, 2012. №5. С. 77-78.
2. Травуш В.И., Федорова Н.В. Живучесть конструктивных систем сооружений при особых воздействиях // Инженерно-строительный журнал, 2018. №5. С. 73-80.
3. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Экспозиция живучести // Известия ВУов. Строительство. 2007. №5. С. 4-8.
4. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство, 2013. №2. С. 28-31.
5. Колчунов В.И., Тамразян А.Г. Основные направления развития теории конструктивной безопасности и синтеза железобетонных конструкций зданий и сооружений // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону (Москва, 12-16 мая 2014 г.): в 7 т. Т.7. Пленарные доклады. Москва: МГСУ, 2014. С. 176-191.

6. *Бондаренко В.М., Карпенко Н.И.* Уровень напряженного состояния как фактор структурных изменений и реологического силового сопротивления // АСАДЕМІА. Архитектура и строительство. 2007. №4. С. 56-59.
7. *Бондаренко В.М., Колчунов В.И.* Экспозиция живучести // Известия ВУов. Строительство. 2007. №5. С. 4-8.
8. *Колчунов В.И., Федорова Н.В., Савин С.Ю.* Динамические эффекты в статически неопределимых физически и конструктивно нелинейных системах / Промышленное и гражданское строительство, 2022. №9. С. 42-50.
9. *Гениев Г.А.* Об оценке динамических эффектов в стретневых системах из хрупких материалов // Бетон и железобетон. 1992. №9. С. 25-27.
10. *Гениев Г.А., Колчунов В.И., Ключева Н.В. [и др.]* Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях: научное издание. М.: Издательство АСВ, 2004. 216 с.
11. *Бондаренко В.М.* Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. - Харьков: Издательство харьковского университета, 1968. 323 с.

ОБОСНОВАНИЕ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЕМОНТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ

Г.Д. Шмелев

ФГБОУВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж,
shmelev8@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы повторного использования строительных конструкций после разборки старых зданий. Для обоснования возможности повторного использования строительных конструкций демонтируемых зданий показана необходимость проведения оценки технического состояния строительных конструкций, а также прогноза и обоснования остаточного срока службы групп однотипных конструкций. Показана необходимость выполнения экспресс-прогноза, так называемыми "экспертными методами". Выделены основные косвенные показатели, которые используются для выполнения "экспертного прогноза" остаточных сроков службы строительных конструкций: физический износ, поврежденность и вероятное снижение несущей способности. Показана и обоснована необходимость использования "экспертных методов" прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций демонтируемых зданий (методом поэлементной разборки) при ограниченной исходной информации на строительный объект. Показано, что для уменьшения ошибки прогноза и увеличения точности прогноза остаточного срока службы строительных конструкций для каждого показателя прогноз производится с использованием линейных и нелинейных математических моделей. На примере, с использованием графического представления результатов, рассмотрен прогноз по показателю физического износа железобетонных многопустотных плит перекрытия здания. При выполнении прогноза использованы линейная и нелинейная модели развития физического износа. Показана практическая значимость повторного использования строительных конструкций, их эффективность и снижение влияния на экологию.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в крупных городах Российской Федерации проявилась устойчивая тенденция к выводу производств из центральных и срединных зон крупных городов в периферийные зоны. Это связано одновременно, с вопросами экологии, повышения стоимости земельных участков, изменения самих производственных процессов и используемого в них оборудования, а так же с вопросами недостатка современного комфортабельного жилья.

Остающиеся после вывоза технологического оборудования производственные здания и сооружения, по большей части находятся в хорошем состоянии и могли бы при соответствующем ремонте эксплуатироваться еще в течение нескольких десятков лет. Однако их объемно-планировочные решения не всегда позволяют провести их реконструкцию и приспособление под использование в виде крупных торговых центров, офисных или жилых зданий.

В таких случаях приступают к демонтажу строительных конструкций зданий. Проведение сноса зданий с использованием направленных промышленных взрывов в густонаселенной городской застройке в нашей стране практически не используется. Практикующийся часто снос зданий методом механических ударных воздействий нерационален ввиду появления большого количества разнородного смешанного строительного мусора, требующего для своей утилизации значительных по объему участков свалок [1, 2]. Следует отметить, что при этом фактически уничтожаются не только дефектные, но и совершенно неповрежденные строительные конструкции.

Существует иной, более рациональный и эффективный подход к демонтажу старых зданий, основанный на поэлементной разборке строительных конструкций, позволяющий их повторно использовать [3 - 6]. Направления повторного использования строительных конструкций могут быть различными, в том числе и нетрадиционными [7].

В рамках настоящей научной статьи планируется показать практический метод обоснования возможности повторного использования демонтированных строительных конструкций, разработанный в Воронежском государственном техническом университете. Предлагаемый метод основан на оценке нескольких показателей, характеризующих фактическую категорию технического состояния конструкций, а именно поврежденность, физический износ, вероятное снижение несущей способности строительных конструкций. При этом, для принятия окончательного решения о возможности дальнейшего использования демонтированных строительных конструкций используются методы экспертного прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций [8 - 18].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ключевой задачей при повторном использовании строительных конструкций демонтируемых зданий является определение их остаточного срока службы. Для малоэтажного строительства, где в основном и используются строительные конструкции повторного применения, не предъявляются повышенные требования по безопасности и долговечности. Однако, при правильном, научно обоснованном подходе, использование любых конструкций повторного применения, даже в малоэтажном строительстве, требует соблюдения требований по безопасности. Для решения вопросов о возможности повторного применения строительных конструкций при возведении малоэтажной жилой застройки, как минимум требуется оценить реальную возможность их использования и прогнозируемые сроки службы. На основании именно этих данных и должно приниматься решение о возможности повторного применения строительных конструкций, полученных после разборки старых зданий. На решение вопроса по оценке остаточных сроков службы строительных конструкций зданий и сооружений направлено настоящее исследование.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время существует большое количество различных по подходу авторских методик для определения остаточных сроков службы строительных конструкций, в том числе разработанных в Воронежском государственном техническом университете [9, 12, 13, 15 - 19]. Однако их использование требует длительного времени, как на проведение сложного технического обследования, так и на процедуру прогнозирования и обоснования остаточного срока службы каждой группы однотипных строительных конструкций.

Для ускорения процесса определения остаточных сроков службы строительных конструкций демонтируемых старых зданий предлагается использовать так называемые "экспертные методы" или методы экспресс-прогноза.

Объем исходной информации по объекту и составляющим его конструкциям чаще всего оказывается не просто ограниченным, а значительно ограниченным, так как в лучшем случае на объект сохраняется только эксплуатационная документация, представленная обмерными чертежами и обрывочными сведениями о текущем физическом износе строительных конструкций. В этом случае использование "точных" методов прогноза, значительно затягивает не только процесс прогнозирования и оценки остаточных сроков службы строительных конструкций, ни и сам процесс демонтажа здания. Использование в этом случае "экспертных методов" позволяет ограничиться результатами визуального осмотра здания или сооружения и той скудной исходной информацией, которая сохранена.

Суть предлагаемых "экспертных методов" состоит в достаточно быстром определении остаточных сроков службы по трем линейным и трем нелинейным

математическим моделям. В качестве прогнозируемых показателей выступают: физический износ, поврежденность и вероятное снижение несущей способности. Использование для прогноза по каждому показателю линейной и нелинейной модели прогноза в совокупности позволяет избежать грубых ошибок прогноза. Последующая математическая обработка результатов прогноза по шести моделям с контролем грубых ошибок, позволяет свести ошибки прогноза к минимальным значениям.

Использование линейных моделей прогноза оправдывается значительно ограниченным объемом исходной информации. Так, например, показатели физического износа строительных конструкций за весь период эксплуатации объекта до его сноса в лучшем случае контролируются один, два раза. В отношении показателей поврежденности и вероятного снижения несущей способности сведения об их промежуточном контроле чаще всего отсутствуют вообще.

Сведения о начальном состоянии объекта по этим показателям так же чаще всего отсутствуют. В условиях таких ограничений, по объему исходной информации, приходится прибегать к использованию различных допущений и введению дополнительных начальных условий. В частности на момент начала эксплуатации объекта условно принимается, что показатели физического износа, поврежденности строительных конструкций и их вероятного снижения несущей способности были равны нулю. Для объектов, построенных индустриальным способом, с изготовлением строительных конструкций в заводских условиях, это оказывается очень близко к истине.

Сведения о текущем фактическом состоянии строительных конструкций объекта по всем приведенным выше показателям на момент времени проведения обследования перед демонтажем здания определяются по визуальным признакам с использованием данных о категории технического состояния каждой отдельно взятой группы однотипных строительных конструкций.

Так, например, показатели физического износа приведены в ВСН 53-86(р) "Правила оценки физического износа жилых зданий". Показатели поврежденности указаны в работе [20]. Показатели вероятного снижения несущей способности приведены в работах [21, 21]. Математические зависимости, с использованием которых выполняется прогнозирование, описаны в работах [8, 10, 11, 14].

Графически модели линейного и нелинейного прогноза развития физического износа для многопустотных железобетонных плит покрытия, первоначально эксплуатировавшихся на конкретном здании 51 год и имеющих на момент времени осмотра и разборки здания показатели физического износа на уровне 30 % (данные получены с реального объекта), выглядят следующим образом — рисунок 1.

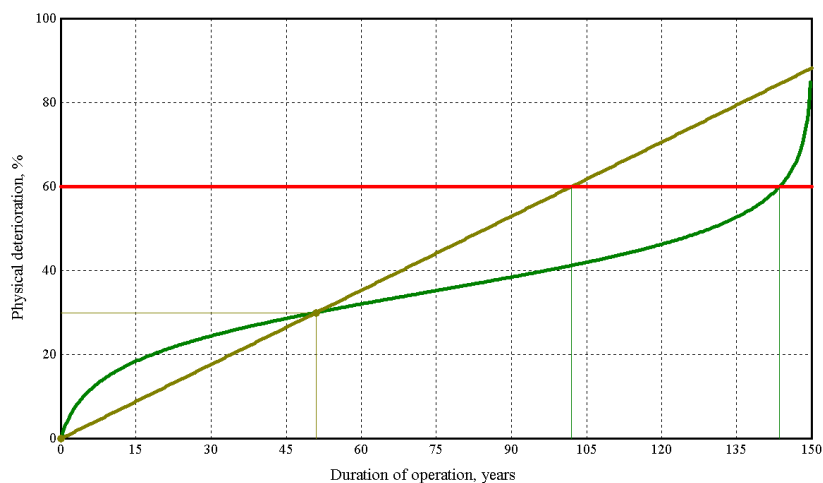


Рис. 1. Графики прогноза физического износа плит

Как видно из графиков, достижение предельного физического износа конструкций

(60 %), когда требуется их полная замена, по линейной модели достигается к 102 годам эксплуатации, а по нелинейной модели к 143 годам эксплуатации. Усреднение полученных значений дает остаточный срок службы, с учетом прошедшей эксплуатации (51 год), на уровне 71 год.

Таким же образом получают результаты с использованием показателей поврежденности и вероятного снижения несущей способности конструкций.

Полученные сведения об остаточном сроке службы каждой группы однотипных конструкций усредняются по всем показателям, а полученное значение остаточного срока службы используется для дальнейшего окончательного принятия решения о повторном применении этой группы конструкций при строительстве малоэтажных зданий.

Таким образом, прогноз развития физического износа в рассмотренном примере показывает, что конструкции многопустотных железобетонных плит, имеющие видимые деформации, следы увлажнения и мелкие трещины (характерные для физического износа в 30 %) могут еще длительное время эксплуатироваться, до достижения ими аварийного состояния, требующего полной замены плит.

ВЫВОДЫ

Представленные в статье результаты исследований по прогнозированию и обоснованию остаточных сроков службы строительных конструкций демонтируемых зданий, используемые для обоснования возможности и целесообразности повторного применения строительных конструкций нашли реальное применение на практике при осуществлении разборки нескольких старых производственных зданий научно-производственного объединения "Вега" в г. Воронеже.

Результаты применения описанной методики позволили обосновать возможность повторного использования нескольких сотен тонн железобетонных конструкций, построить с их использованием несколько малоэтажных жилых домов и снизить нагрузку на полигоны твердых бытовых отходов г. Воронежа. Помимо этого были сэкономлены значительные финансовые средства на утилизацию и получен некоторый доход от строительства новых жилых малоэтажных зданий.

Разработанный в Воронежском государственном техническом университете подход к оценке остаточных сроков службы любых строительных конструкций зданий и сооружений, основанный на "экспертных методах" прогнозирования, позволяет дать научное обоснование возможности повторного применения строительных конструкций демонтируемых старых зданий с точки зрения их остаточных сроков службы.

Возведение малоэтажных зданий из железобетонных конструкций повторного применения позволяет значительно снизить затраты на возведение зданий. При повторном использовании строительных конструкций для строительства малоэтажных зданий одновременно решается и экологическая проблема, связанная с утилизацией строительных отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Курашвили З.Н.* Актуализация проблемы свалок и повторной переработки отходов // Безопасность городской среды. Материалы межрегиональной (с международным участием) научно-практической конференции. 2016. С. 30-32.
2. *Бахтиёров Н.Б.Ли, Бабаева М.А.К.* Переработка отходов и их повторное использование – глобальная проблема современности // Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции: в 4 частях. 2017. С. 200-205.
3. *Чадович А.А.* Сохранение или снос? Компромисс! // Architecture and Modern Information Technologies. 2013. № 1 (22). С. 10.
4. *Колосков В.Н., Олейник П.П., Тихонов А.Ф.* Разборка жилых зданий и переработка их конструкций и материалов для повторного использования // М.: Изд-во АСВ. 2004. 199 с.
5. *Золотухин С. Н., Лобосок А.С.* Повторное использование строительных материалов и отходов производства в малоэтажном строительстве // Материалы 14-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология», ВГАСУ, Воронеж. 2011. С. 63 – 67.

6. Золотухин С.Н., Насонова Т.В., Потехин И.А. Рациональное строительство с повторным использованием строительных материалов, конструкций, изделий после сноса зданий // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. № 10. С. 206-209.
7. Золотухин С. Н., Золотухина М. С. Использование отходов строительных материалов в дизайне спортивно-оздоровительного комплекса // Материалы 14-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология», ВГАСУ, Воронеж. 2011. С. 58 – 63.
8. Шмелев Г.Д. Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу // Строительство и реконструкция. 2014. № 3 (53). С. 31-39.
9. Шмелев, Г. Д., Ишков А. Н. Прогнозирование остаточного ресурса изгибаемых, центрально и внецентренно сжатых железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неагрессивных средах // Ростов-на -Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2007. 219 с.
10. Шмелев Г.Д., Головина Н.В. Прогнозирование надежности и остаточного ресурса строительных конструкций с использованием метода линеаризации в условиях ограниченной статистической информации // Сборник научных трудов SWorld. 2012. Т.6. № 4. С. 100-107.
11. Шмелев Г.Д., Головина Н.В. Ретроспективное прогнозирование технического состояния строительных конструкций // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. № 3. С. 93-108.
12. Шмелев Г.Д., Николайчев И.В. Параметрические методы прогнозирования остаточных сроков службы железобетонных строительных конструкций // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2013. № 7. С. 167-175.
13. Shmelev G.D. Methodology of estimation of the technical condition and calculation of forecasting and substantiation of the residual time of the service of construction structures // В сб. INTERNATIONAL INNOVATION RESEARCH IX Международной научно-практической конференции: в 2 частях. 2017. С. 62-64.
14. Shmelev G.D., Ishkov A.N. Express evaluation of the probability of unforgettable work of construction structures // В сб. European Scientific Conference победителей IV Международной научно-практической конференции: в 3 ч. 2017. С. 41-43.
15. Потапов Ю.Б., Головинский П.А., Шмелев Г.Д. Расчет долговечности железобетонных конструкций с учетом коррозии арматуры // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 6 (534). С. 113-117.
16. Шмелев Г.Д., Федотова М.И. Использование случайных функций и процессов в комбинированной интегральной методике прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 1 (39). С. 128-137.
17. Шмелев Г.Д. Логическая структура экспертной системы прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. № 1-2. С. 9-17.
18. Shmelev G.D. Complex methodology of the calculated substantiation of the residual resource of construction structures // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS.: сборник статей XI международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. Пенза: МЦНС "Наука и просвещение". 2017. с. 79-81.
19. Ishkov A. N., Shmelev G.D. Use of physical wear to assess the risk of accidents // Advanced science.: сборник статей VI международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. Пенза: МЦНС "Наука и просвещение". 2019. с. 103-106.
20. Добромыслов А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов. 2006. 256 с.
21. Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. Атлас схем и чертежей. Томск. Томский межотраслевой ЦНТИ. 1990. 315 с.
22. Морозов А.С., Ремнева В.В., Тонких Г.П. Организация и проведение обследования технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений. М.: 2001. 212 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НУЖД КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

Д.В. Якимшин¹, Г.С. Быков², В.И. Римшин³

^{1,3}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

^{1,2,3}Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН),

¹ym-dv001@yandex.ru

²admin.nex@gmail.com

³V.Rimshin@mgsu.ru

Аннотация

В настоящее время существует достаточно большое количество зданий и сооружений, требующих капитального ремонта. Перечень ситуаций, при которых может потребоваться усиление существующих конструкций, достаточно широк. К ним относятся жилые дома, которые в силу своего возраста требуют непосредственного вмешательства. И относительно новые дома, при строительстве которых были допущены технологические ошибки или ошибки проектирования, приведшие к нарушению целостности тех или иных конструкций. Также это могут быть различные конструкции, например, коллекторы, которые рассчитаны на определенный период эксплуатации. Неравномерная просадка фундамента может ухудшить ситуацию. Ослабление несущей способности может развиваться по мере износа конструкций при чрезмерной эксплуатации. Как видим, ситуаций может быть много, поэтому и количество решений должно быть соответствующим. На данный момент предоставляется большой выбор способов армирования, а также материалов для проведения соответствующих работ. В связи с этим возникает вопрос: какие материалы предпочтительнее для проведения таких работ.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время строительная отрасль все больше обращает свое внимание на композиционные материалы. Доля, выделяемая строительному сектору, составляет почти тридцать процентов от общего потребления материалов и с каждым годом только растет. Но так ли выгодно использовать композиты? Есть ли существенные преимущества перед традиционными материалами? И главный вопрос: есть ли отличия в стоимости? На все эти вопросы есть однозначные ответы, но для начала нужно разобраться, что такое композиционные материалы вообще. Композитные материалы, например, были изучены в работах российских ученых [1-6].

Композитные материалы (или сокращенно КМ) — это гетерогенные твердые материалы, состоящие из двух и более элементов пластичной структуры, армированных наполнителями с различными физико-химическими свойствами. Композиционный материал состоит из матрицы и армирующего вещества (наполнителя). Матрица композиционного материала может быть металлической, керамической, углеродной и др. Материал матрицы обволакивает и удерживает армирующий материал, за счет чего формируется форма, обеспечивается монолитность материала, передача и распределение напряжений в наполнителя и определяются такие характеристики, как огнеупорность, химическая стойкость, а также теплопроводность и влагонепроницаемость. Армирующее вещество передает свои механические и физические свойства изделию, тем самым улучшая свойства матрицы, а также воспринимает основную нагрузку на композиционный материал.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

История происхождения искусственных композиционных материалов восходит к истокам цивилизации, когда люди стали сознательно пытаться изобретать новые строительные

материалы. Первые упоминания об армированных строительных материалах мы можем найти в Библии. В Египте и Месопотамии речные суда строили из тростника, пропитанного битумом (прообраз нынешних лодок из стеклопластика). Создание мумий в Египте можно назвать первым примером использования метода намотки ленты (мумии обматывались лентой из ткани, пропитанной смолой). Все это было возможно за тысячи лет до нашей эры. Поэтому история полимерных композиционных материалов чрезвычайно давняя. Однако настоящий прорыв в современном полимерном материаловедении произошел в конце первой половины XX века, когда были изобретены превосходные прочные и легкие стеклопластики и из них строились планеры, а затем и все остальное.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общепринятые методы восстановления несущей способности имеют много недостатков. Наибольшее воздействие приходится на четко выраженные элементы строительных конструкций, требующие восстановления и повышения их прочности:

- растянутые и сжатые элементы;
- короткие стойки;
- элементы консоли;
- пролетные зоны изогнутых элементов;
- опорные площадки конструкций;
- гибкие колонны.

Чаще всего в наше время применяют два основных способа усиления железобетонных конструкций:

- увеличение сечения несущих элементов;
- добавление к основной конструкции вспомогательных конструктивных элементов, принимающих на себя часть нагрузки.

Примеры увеличения поперечного сечения включают:

- приварка дополнительных прокатных профилей к металлоконструкциям или бетонирование стальных балок;
- установка железобетонных кожухов и хомутов, применение стальных хомутов для железобетонных перекрытий.

Примером дополнительных конструктивных элементов является использование дополнительных балок (на основе существующих или вновь устраиваемых опор) между существующими конструкциями. Однако эти способы армирования, как правило, создают значительные неудобства при довольно длительном времени ремонта:

- необходимость большого количества механизмов;
- необходимость выборочной разгрузки армированных конструкций;
- приостановка операционных процессов;
- в некоторых случаях армированные элементы расположены слишком неудобно, поэтому возникают сложности с непосредственным производством работ.

Помимо прочего, в ситуациях, когда свойства бетона ухудшились, проржавел арматурный каркас или нарушился защитный слой бетона, производится замена защитного слоя бетона. Существующий защитный слой полностью удаляется, а арматура очищается от следов коррозии. Такие методы работ отличаются высокой трудоемкостью и часто связаны с процессами мокрого бетонирования и, как следствие, требуют большего времени для набора бетоном прочности. Помимо всего прочего, следует учитывать важный фактор, который многие упускают из виду. А именно увеличение общего веса конструкции. Общепринятые строительные материалы (будь то сталь или даже алюминий) неизбежно увеличивают общий вес конструкции, что влечет за собой дополнительные нагрузки, которые в свою очередь негативно сказываются на армированных конструкциях и в дальнейшем могут привести к новым разрушениям. При

этом могут пострадать даже те конструкции, которые раньше не требовали никакого внимания.

Композитные материалы

На данный момент в основном используются системы внешнего армирования с применением углеродного волокна. Он представлен в виде композиционных тканых материалов (полотна) и ламелей (лент). Материал достаточно многофункционален и позволяет проводить реставрационные работы на каменных, деревянных, бетонных, железобетонных и металлических конструкциях.

Иногда в качестве дополнительной рабочей арматуры используется углеродное волокно. Такая система однозначно гарантирует требуемую несущую способность ремонтируемой конструкции и при этом в несколько раз увеличиваются межремонтные интервалы и значительно увеличивается ресурс строительных конструкций.

Преимущества вышеописанной системы внешнего армирования композитными материалами:

- быстрый и простой монтаж усиливающих элементов;
- отсутствие коррозии;
- повышенный предел прочности на растяжение углеродного волокна;
- высокий предел выносливости;
- минимальные нагрузки на восстанавливаемые конструкции;
- повышенный предел прочности на растяжение углеродного волокна;
- сохранение эстетичного вида армированных элементов конструкции.

С технической и технологической точки зрения этот способ более эффективен, чем традиционные способы армирования с использованием тех же стальных хомутов. Для обеспечения совместной работы стального каркаса с элементом арматуры необходимо включение в работу элементов каркаса, что может быть достигнуто путем создания в каркасе сил предварительного натяжения за счет нагрева хомутов и применения растворов, способствующих расширению. Клипсы из углеволокна или ламелей включаются в работу армированного элемента через клеевой слой при монтаже. Такой способ дает возможность сразу включать в работу усиленные элементы, не нарушая при этом целостности конструкций, отказаться от огневых работ и, кроме всего прочего, значительно повысить необходимость сопротивления конституции ударным и динамическим нагрузкам. Кроме того, углеродные волокна в 10 раз прочнее и в 5 раз легче стали.

Преимущества композитов

Однако всего этого можно избежать, если использовать современное решение – внешнее армирование углеродными композитными материалами. Из действительно ощутимых преимуществ использования углеродных композиционных материалов можно выделить следующие:

- заметное сокращение хронометража событий;
- отсутствие необходимости сварочных работ;
- небольшая потребность в рабочем пространстве;
- увеличение интервала ремонтных работ;
- возможность проведения мероприятий по усилению без остановки производственных процессов и перекрытия транспортных потоков;
- малый вес дополнительных элементов жесткости;
- снижение трудозатрат (кроме того, исключение затрат, связанных с оплатой использования тяжелой строительной техники);
- инертность и стабильная устойчивость ко всем агрессивным средам;
- высокая адгезия с любым армированным строительным материалом;
- минимальная толщина армирующего композитного материала.

По сравнению с обычными конструкционными материалами (сталь, алюминий и др.) композиционные материалы на основе углеродных волокон обладают чрезвычайно высокими характеристиками:

- повышенная прочность;
- достаточно показательный модуль упругости;
- значительное сопротивление усталости;
- химическая и термическая стойкость, характеристики которой в несколько раз выше, чем у стали при значительно меньшей массе композита.

Помимо всего вышеперечисленного, стоит обратить внимание на то, что, в отличие от традиционных способов армирования с применением железобетонных оболочек и установкой дополнительных стальных профилей, армирование углеродными лентами позволяет полностью сохранить первоначальный архитектурный вид, и эстетичный внешний вид конструкции.

ВЫВОДЫ

Подводя итоги, хотелось бы выделить основные моменты, в которых композиты имеют неоспоримое преимущество перед традиционными материалами. Они обладают отличной прочностью, эластичностью, достаточно легкие (по сравнению с той же сталью), обладают значительной усталостной прочностью, также устойчивы к химическим и термическим воздействиям, просты в монтаже и дают возможность сохранить первоначальный вид здания. Справедливо отметить их относительно высокую стоимость, но она полностью компенсируется отсутствием больших трудозатрат при монтаже. Исходя из всего вышеперечисленного, можно с уверенностью сказать, что за композитными материалами будущее.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Римшин В.И.* Достижения науки - в практику строительства .Бетон и железобетон. 1995. № 6. С. 30-31.
2. *Бондаренко В.М., Римшин В.И.* Строительная наука -направления развития
3. *Строительные материалы.* 1998. № 4. С. 2.
4. *Бондаренко В.М., Прохоров В.Н., Римшин В.И.* Проблемы устойчивости железобетонных конструкций. БСТ: Бюллетень строительной техники. 1998. № 5. С. 13. 4. *Римшин В.И.* О некоторых вопросах несущей способности строительных конструкций, усиленных наращиванием. Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 1998. № 2. С. 329
5. *Теличенко В.И., Римшин В.И.* Критические технологии в строительстве Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 1998. № 4. С. 16-18.
6. *Бондаренко В.М., Курзанов А.М., Римшин В.И.* Механизм сейсмических разрушений зданий. Вестник Российской академии наук. 2000. № 11. С. 1005.
7. *Римшин В.И., Кецко Е.С., Трунцов П.С.* Большой строительный словарь Том 1 А-О Москва, 2022.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРИГРУЗА ЗАБОЯ ПРИ ЩИТОВОЙ ПРОХОДКЕ НА ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТОВОГО МАССИВА

Р.Н. Никоноров

ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации», г. Москва

Niknоров.RN@nizta.ru

Аннотация

Возведение перегонных тоннелей с применением ТПМК в условиях плотной городской застройки осложнено необходимостью обеспечения сохранности и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных коммуникаций окружающей застройки. При проектировании производства работ необходимо учитывать все технологические особенности щитовой проходки для предупреждения рисков возникновения опасных (нештатных) ситуаций. Одной из основных особенностей проходки перегонных тоннелей с применением ТПМК в настоящее время является использование активного пригруза забоя, значения давления которого определяется инженерно-геологическими условиями сложения грунтового массива. Однако, определение требуемых значений давления пригруза в настоящее время не выходит за рамки главной задачи обеспечения устойчивости лба забоя. При этом, снижение давления пригруза по отношению к требуемому может привести к значительным деформациям грунтового массива.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается активное развитие инфраструктуры крупных городов. Наиболее масштабными проектами являются сооружения транспортного назначения, к числу которых относятся и сооружения метрополитена. На данный момент в Москве проводятся работы по возведению новых станций и проходке перегонных тоннелей.

При сооружении перегонных тоннелей с использованием тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) существует необходимость не только во всестороннем анализе при проектировании сооружений, но и в высокопрофессиональном сопровождении строительства.

Для определения условий эффективного применения современного тоннелепроходческого оборудования в конкретных инженерно-геологических и градостроительных условиях возникает необходимость в разработке руководящих документов по технологии щитовой проходки. Одним из таких документов является технологический регламент на сооружение тоннелей с применением ТПМК. Как правило, в регламенте приводятся указания, требования и рекомендации, направленные на обеспечение безопасных условий труда и минимизацию влияния производства работ на окружающую застройку и земную поверхность. В их числе можно выделить:

- Указания к режимам проходки и выполнению основных операций технологического цикла;
 - Технологические схемы и допуски по точности монтажа тоннельной обделки.
- Требования к конструкциям;
- Требования к составам, приготовлению и нагнетанию тампонажных растворов;
 - Требования и допуски на ведение щита по трассе тоннеля;
 - Требования к составам и потребности материалов для стабилизации забоя и кондиционирования грунта;
 - Рекомендации по значениям давления пригруза забоя по трассе тоннелей, способствующим обеспечению безопасности труда и сохранности сооружений окружающей застройки в зоне влияния проходческих работ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной статье рассматривается частный случай влияния выбора значения активного пригруза на устойчивость забоя и осадку земной поверхности при щитовой проходке перегонных тоннелей.

Для проходки тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях в настоящее время применяются щиты с активным пригрузом забоя, которые можно разделить на 4 группы:

- щиты с суспензионным (бентонитовым) пригрузом;
- щиты с грунтовым пригрузом;
- щиты с воздушным пригрузом;
- щиты с комбинированным пригрузом.

В нормативно-технической базе Российской Федерации имеется стандарт организации «СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011. Освоение подземного пространства. Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки» в состав которого включена инженерная методика определения активного давления пригруза забоя ТПМК, разработанная Л. А. Воробьевым и В. В. Чеботаевым (Филиал ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены»). Данная методика разработана для определения значений давления пригруза исходя из условий обеспечения устойчивости лба забоя и предотвращения поднятия (выпора) грунта над трассой в процессе проходки. Она основана на замене окружающего выработку массива столбом грунта в виде цилиндра, опускающегося под действием собственного веса с учетом сил трения и сцепления со всех его сторон. Бесконечная полоса опускающегося грунта заменяется столбом грунта в виде цилиндра. В математической модели учитываются силы трения и сцепления со всех сторон столба, как это имеет место в действительности. Трехмерная призма сползания перед щитом, размеры которой определяются углом внутреннего трения грунта φ , образует в плоскости сечения в верхней точке касания со щитом сложную фигуру, заменяемую для упрощения равновеликим по площади круговым основанием опускающегося цилиндра (Рисунок 1).

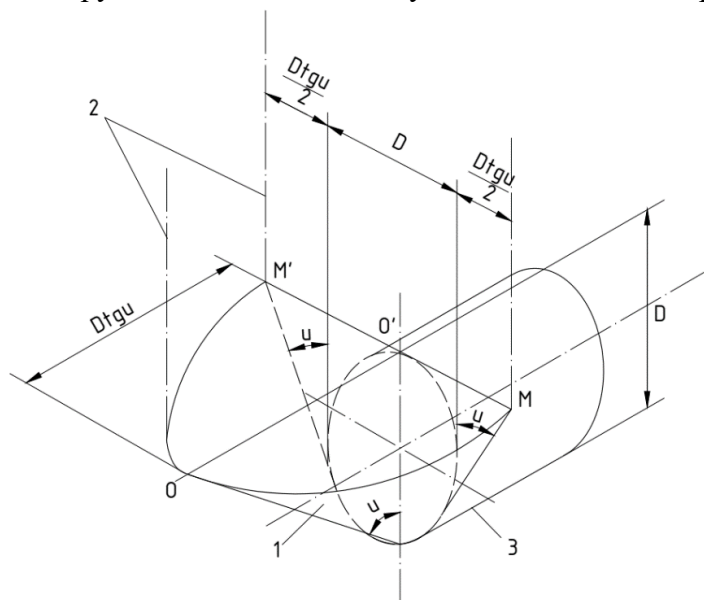


Рис. 1. Призма скольжения перед щитом и образующийся над ней опускающийся столб грунта: 1–призма грунта; 2–направляющие оси опускающегося столба (цилиндра) грунта; 3–щит

При расчетах и назначении давления пригруза забоя по данной методике в общем случае следует учитывать:

- глубину заложения трассы тоннеля;
- особенности сложения массива (однородность грунта, наличие пластов с разными физико-механическими свойствами, наличие локальных неоднородностей, коммуникаций и пр.);
- гидрогеологические свойства пород (грунтов), слагающих массив (наличие водоупорных и водоносных слоев);
- величину давления грунтовых вод (УГВ, действующих напорных горизонтов);
- физико-механические характеристики грунтов массива

Подробнее с методикой можно ознакомиться в СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011.

Учитывая особенности выполнения расчетов пригруза забоя, изложенных в методике, стоит отметить, что наибольшее влияние на полученный результат имеют изученность инженерно-геологических условий и качество проведенных изысканий. Например, в условиях обводненных грунтов уровень грунтовых вод является основной величиной, влияющей на расчетное давление пригруза, поддерживаемое во время проходки, и, определение водоносных горизонтов (в том числе, с возможностью объединения в процессе проходки) имеет очень важную роль при последующих расчетах и, как следствие, при ведении щита.

Таким образом, уже на этапе проведения инженерно-геологических изысканий (ИГИ) следует обратить пристальное внимание на выявление водоносных горизонтов и водопроницаемых пород, гидростатическое давление в которых может достигать существенных значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве примера влияния учета грунтовых вод в массиве на расчетное значение пригруза рассмотрен участок проходки двухпутного перегонного тоннеля на территории Москвы. На рисунке 2 приведен участок профиля с рассматриваемым сечением.

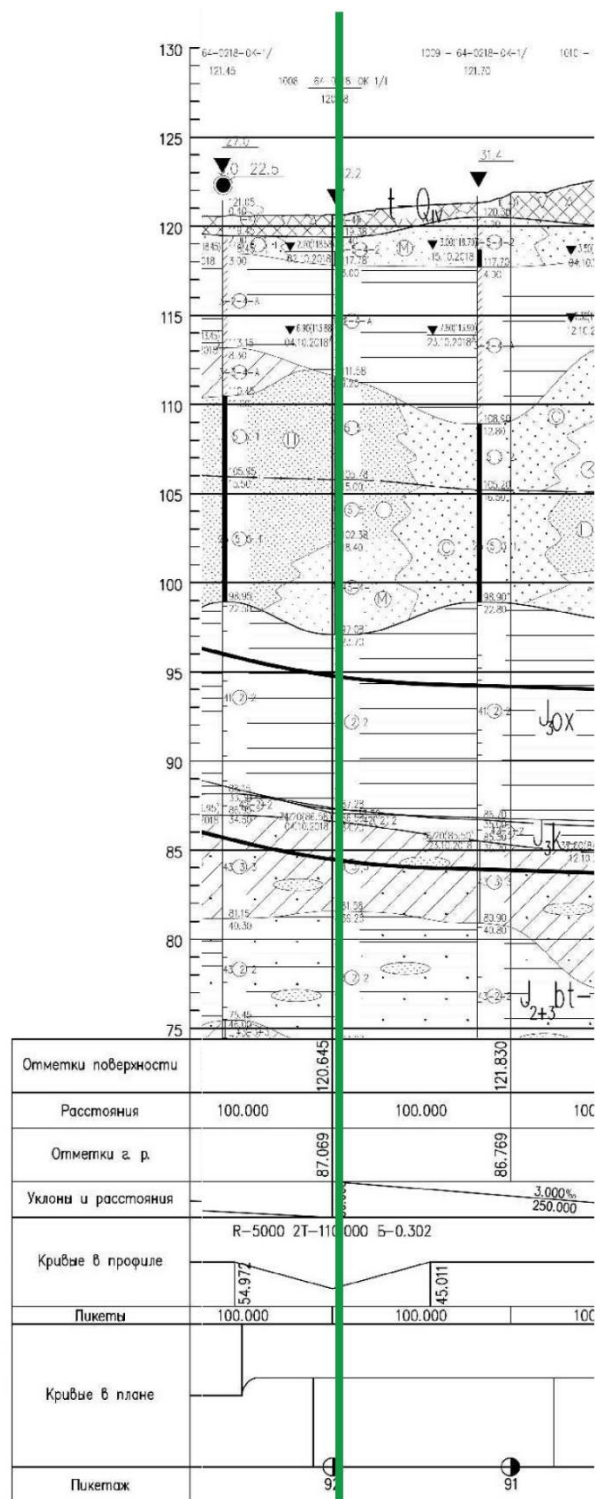


Рис. 2. Участок профиля с рассматриваемым сечением

В уровне лотка перегонного тоннеля залегают глинистые грунты с прослоями песка, местами с дрсевой и щебнем известняка, водонасыщенные по песчаным прослоям (ИГЭ 43-3-3). Наличие грунтовых вод не приурочено к водоносным горизонтам. Таким образом, рассматривать поровое давление в данном инженерно-геологическом элементе при расчете давления пригруза не представляется возможным.

Однако, в случае пренебрежения возможного наличия гидростатического давления в ИГЭ 43-3-3 (обеспеченного поровым давлением грунтовых вод), возможно значительное снижение предполагаемого давления пригруза забоя по отношению к требуемому, что может привести к потере устойчивости лба забоя и, как следствие, к возникновению

нештатных ситуаций при производстве работ, а также к аварийным ситуациям для сооружений окружающей застройки.

В примере рассмотрены два случая сложения массива: 1) в соответствии с ИГИ (Рисунки 3 и 4); 2) с учетом наличия порового давления в вышеуказанном ИГЭ (Рисунки 8 и 9). Для каждого случая методом конечных элементов с применением ПВК ZSoil получены значения коэффициентов запасов устойчивости лба забоя и осадок земной поверхности при условиях вычисления требуемого давления пригруза забоя без учета включения ИГЭ в водоносный горизонт (а) и с учетом наличия порового давления (б). В таблицах 1 и 2 приведены полученные значения требуемого давления пригруза забоя, рассчитанные согласно методики для условий (а) и (б).

Таблица 1. Результаты расчета требуемого давления пригруза забоя при условии (а) отсутствия учета включения ИГЭ 43-3-3 в водоносный горизонт.

№ИГЭ	Мощность слоя, м	Объемный вес, кН/м ³	Сцепление, кПа	Угол вн. трения	Коэф-ент пористости
1-40	1,4	18,4	1	32	0,77
3-5-4-2	0,8	19,1	3	30	0,71
3-5-4-2	0,8	19,1	3	30	0,71
3-2-4-а	6,2	16,6	23	23	1,21
3-5-5-1	5,8	20,1	6	32	0,59
25-5-5-1	3,4	20,2	8	32	0,56
25-5-4-1	5,3	20,2	4	34	0,54
41-2-2	2,4	17,3	106	14	1,15
41-2-2	8,2	17,3	106	14	1,15
43-3-3	2,1	20,6	38	27	0,55
Поверхностная нагрузка, кН/м ²				0,00	
Глубина заложения шельги свода щита, м				26,10	
Глубина заложения лотка щита, м				36,40	
Глубина уровня грунтовых вод, м				2,20	
Диаметр щита, м				10,69	
Коэффициент формы "столба" грунта				1,00	
Коэффициент надежности по грунту				1,20	
Объемный вес грунтопригруза, кН/м ³				1,07	
Коэффициент надежности по гидростатике				1,00	
Требуемое давление пригруза в шельге свода				39,10 кН/м ²	
то же с учетом гидростатики				132,50 кН/м ²	
Требуемое давление пригруза на уровне лотка				107,48 кН/м ²	
то же с учетом гидростатики				164,93 кН/м ²	
Принятое расчетное давление пригруза на уровне 1/3 диаметра щита, считая от лотка				154,12 кН/м ²	
Расчетное давление выпора				635,53 кН/м ²	

Таблица 2. Результаты расчета требуемого давления пригруза забоя при условии (а) включения ИГЭ 43-3-3 в водоносный горизонт

№ИГЭ	Мощность слоя, м	Объемный вес, кН/м ³	Сцепление, кПа	Угол вн. трения	Коеф-ент пористости
1-40	1,4	18,4	1	32	0,77
3-5-4-2	0,8	19,1	3	30	0,71
3-5-4-2	0,8	19,1	3	30	0,71
3-2-4-а	6,2	16,6	23	23	1,21
3-5-5-1	5,8	20,1	6	32	0,59
25-5-5-1	3,4	20,2	8	32	0,56
25-5-4-1	5,3	20,2	4	34	0,54
41-2-2	2,4	17,3	106	14	1,15
41-2-2	8,2	17,3	106	14	1,15
43-3-3	2,1	20,6	38	27	0,55
Поверхностная нагрузка, кН/м ²				0,00	
Глубина заложения шельги свода щита, м				26,10	
Глубина заложения лотка щита, м				36,40	
Глубина уровня грунтовых вод, м				2,20	
Диаметр щита, м				10,69	
Коеффициент формы "столба" грунта				1,00	
Коеффициент надежности по грунту				1,20	
Объемный вес пригруза, кН/м ³				1,07	
Коеффициент надежности по гидростатике				1,00	
Требуемое давление пригруза в шельге свода				39,10 кН/м ²	
то же с учетом гидростатики				241,10 кН/м ²	
Требуемое давление пригруза на уровне лотка				93,50 кН/м ²	
то же с учетом гидростатики				398,50 кН/м ²	
Принятое расчетное давление пригруза на уровне 1/3 диаметра щита, считая от лотка				346,04 кН/м ²	
Расчетное давление выпора				624,72 кН/м ²	

Из приведенных расчетов можно сделать вывод о том, что значения требуемого давления пригруза забоя отличаются более, чем в два раза.

По полученным данным выполнены расчеты устойчивости и осадки грунтового массива методом конечных элементов для случаев 1.а, 2.а и 2.б.

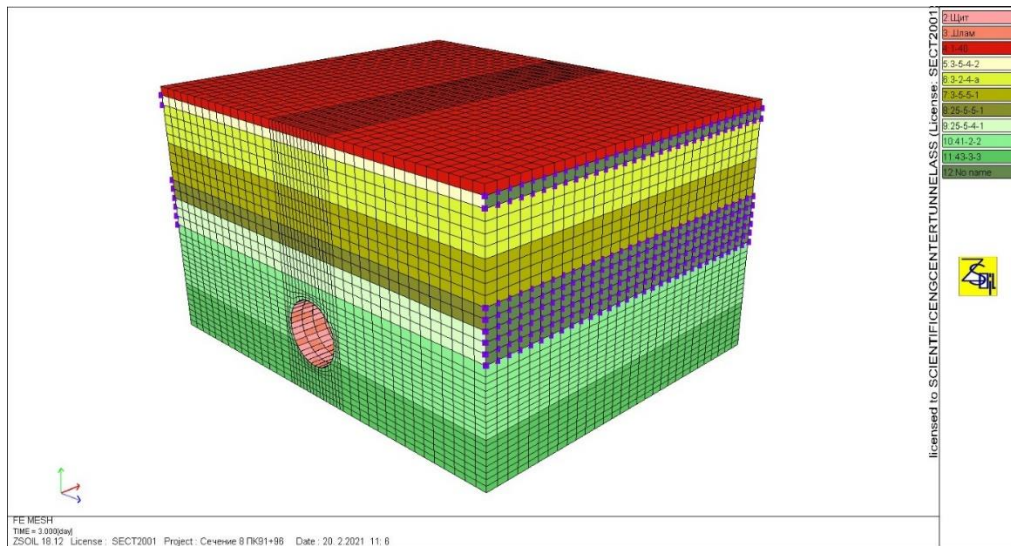


Рис. 3. Расчетная модель геологического сечения для случая 1

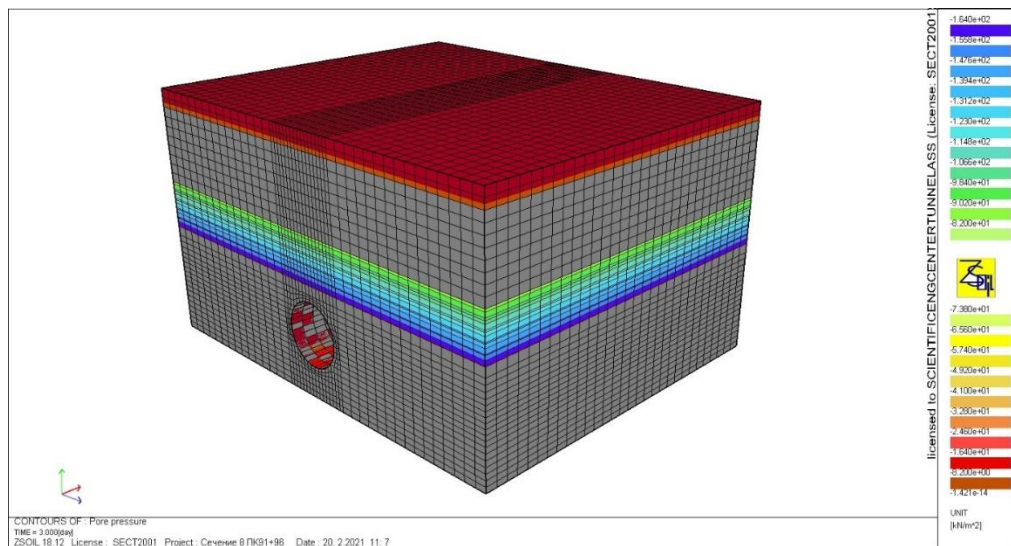


Рис. 4. Изополя порового давления в массиве для случая 1

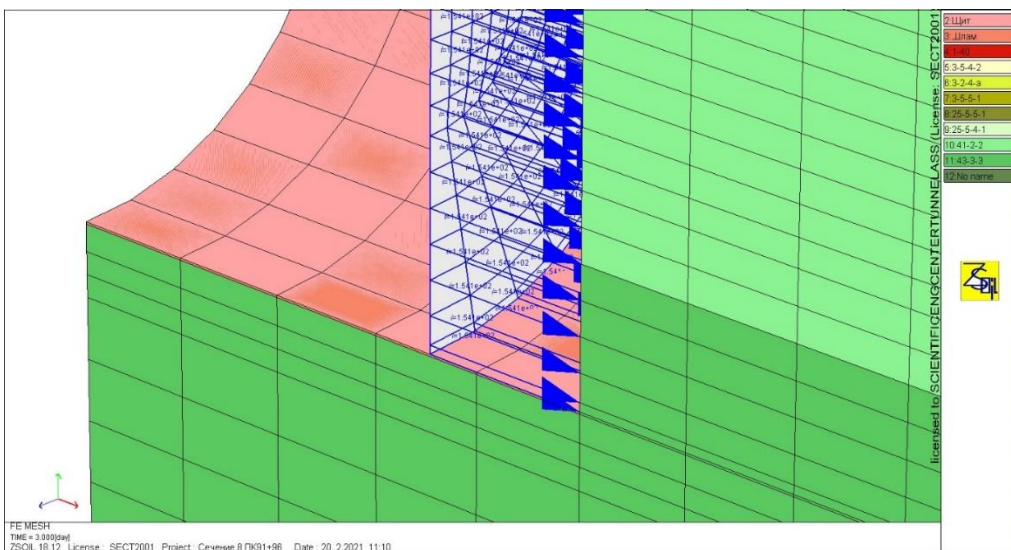


Рис. 5. Значение грунтопригруза для случая 1 (при условии (а))

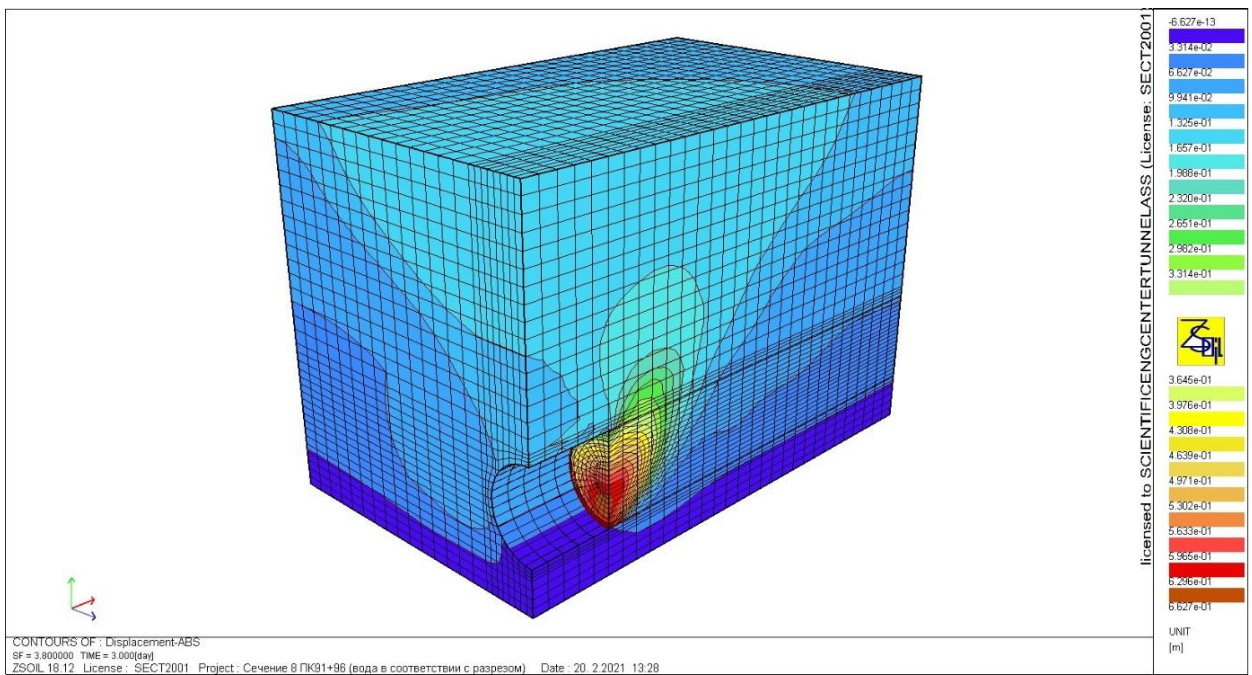


Рис. 6. Коэффициент устойчивости $S_f = 3,8$ для случая 1 (при условии (а))

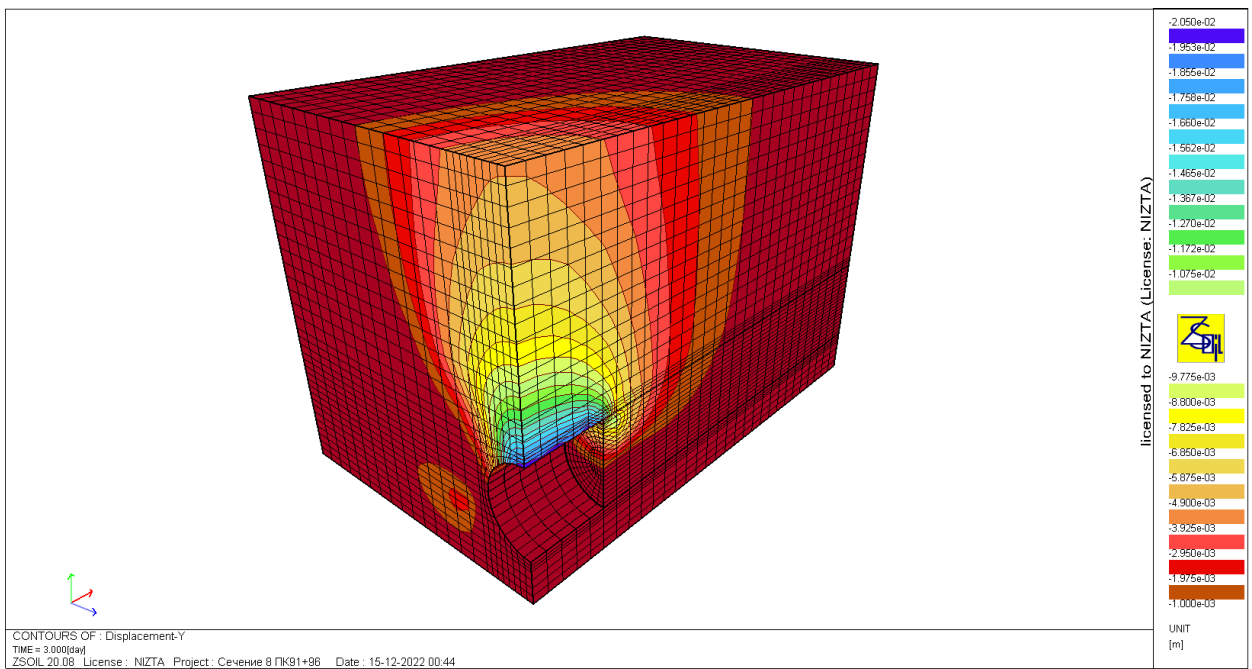


Рис. 7. Изополю вертикальных перемещений грунтового массива (при условии (а)).
 Значение осадки земной поверхности над шельгой забоя составляет 3,98 мм, радиус зоны влияния – 22 м перед забоем

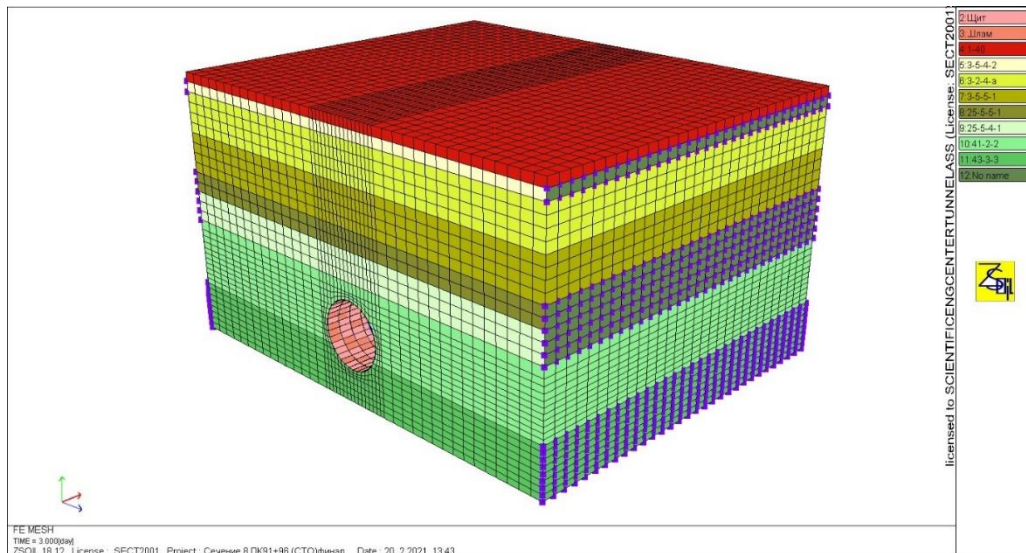


Рис. 8. Расчетная модель геологического сечения для случая 2

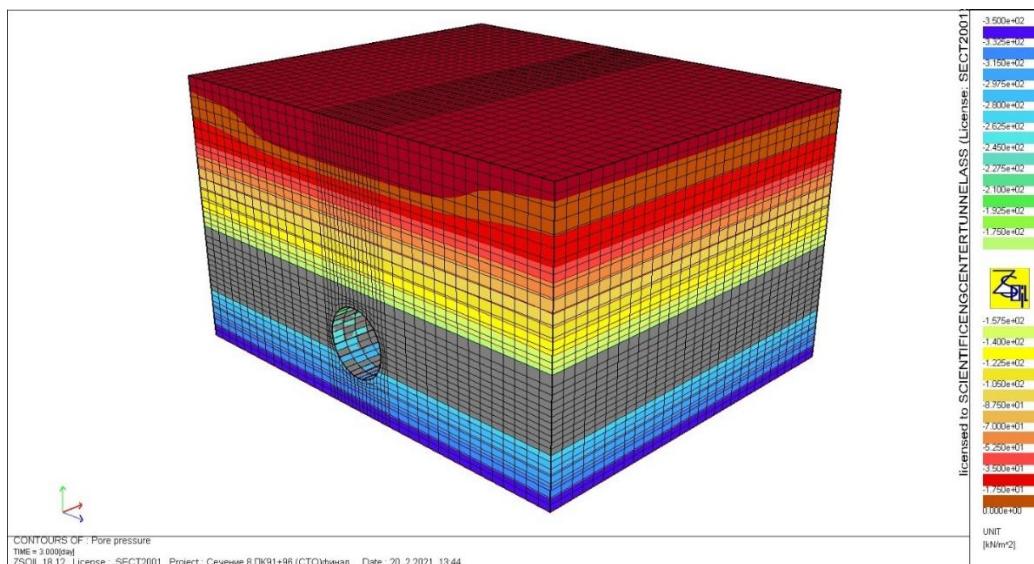


Рис. 9. Изополя порового давления в массиве для случая 2

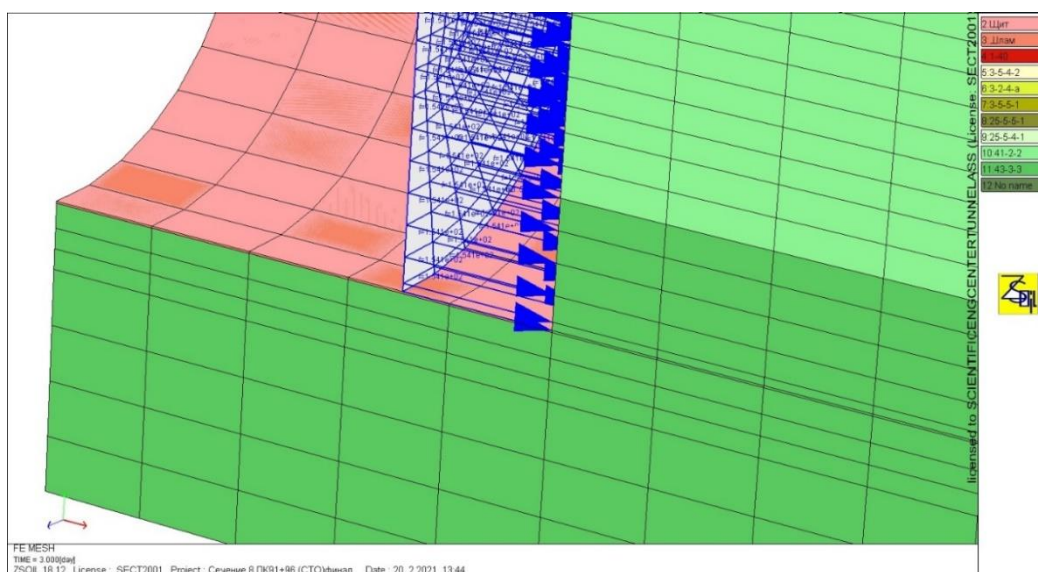


Рис. 10. Значение грунтопригрузки для случая 2 (при условии (а))

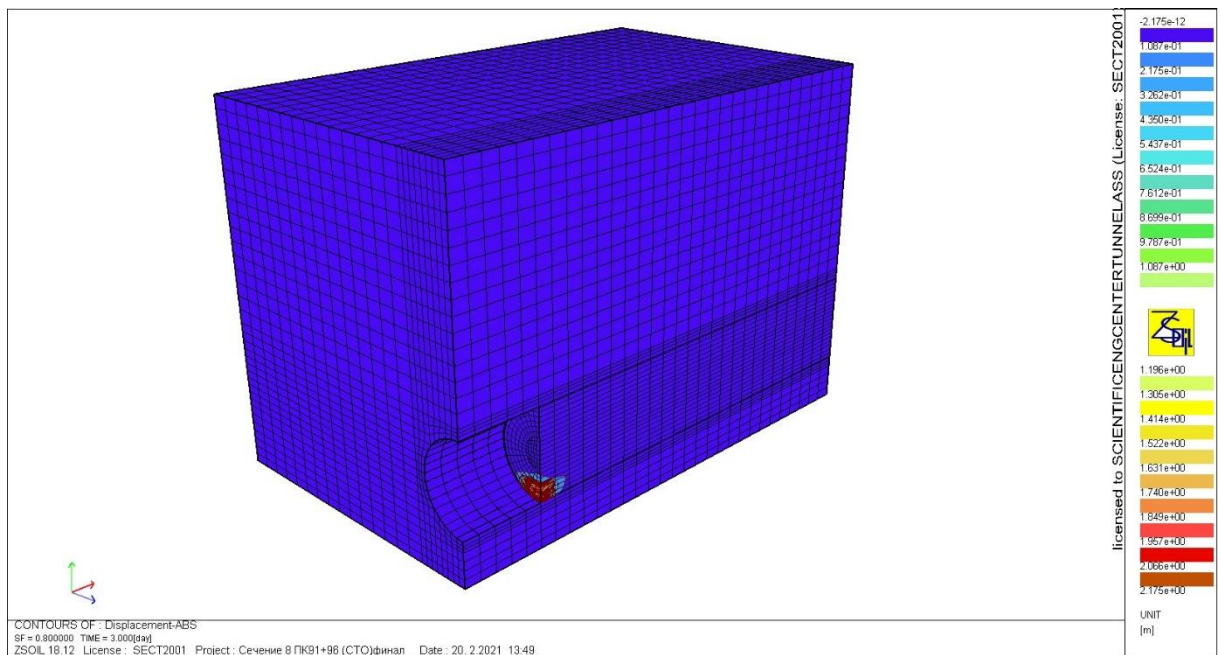


Рис. 11. Коэффициент устойчивости $S_f = 0,8$ для случая 2 (при условии (а))

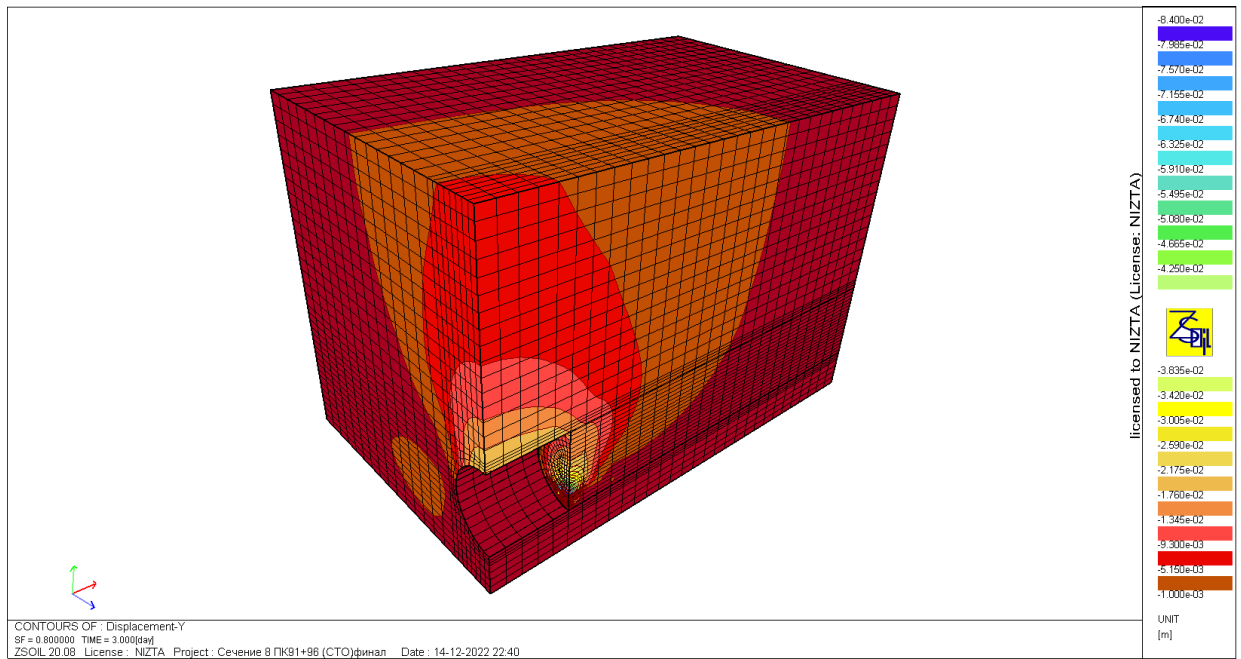


Рис. 12. Изополя вертикальных перемещений грунтового массива (при условии (а)).
 Значение осадки земной поверхности над шельгой забоя составляет 4,88 мм, радиус зоны влияния – 28 м перед забоем

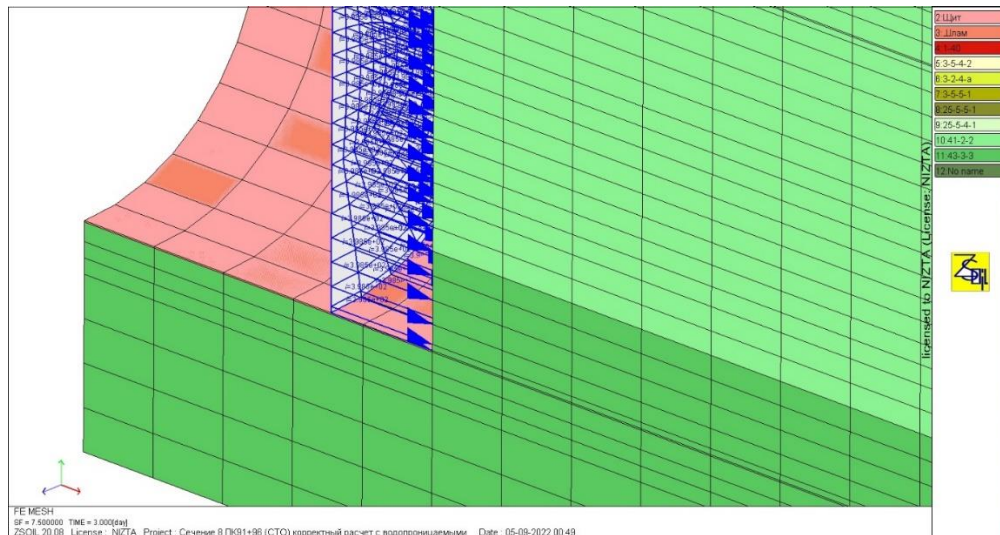


Рис. 13. Значение грунтопригруза для случая 2 (при условии (б))

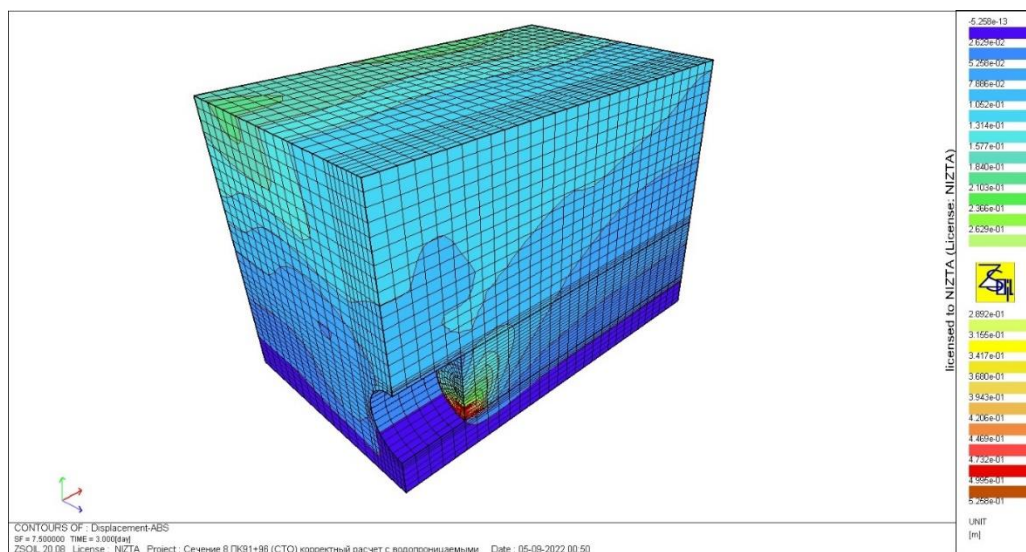


Рис. 14. Коэффициент устойчивости $Sf = 7,5$ для случая 2 (при условии (б))

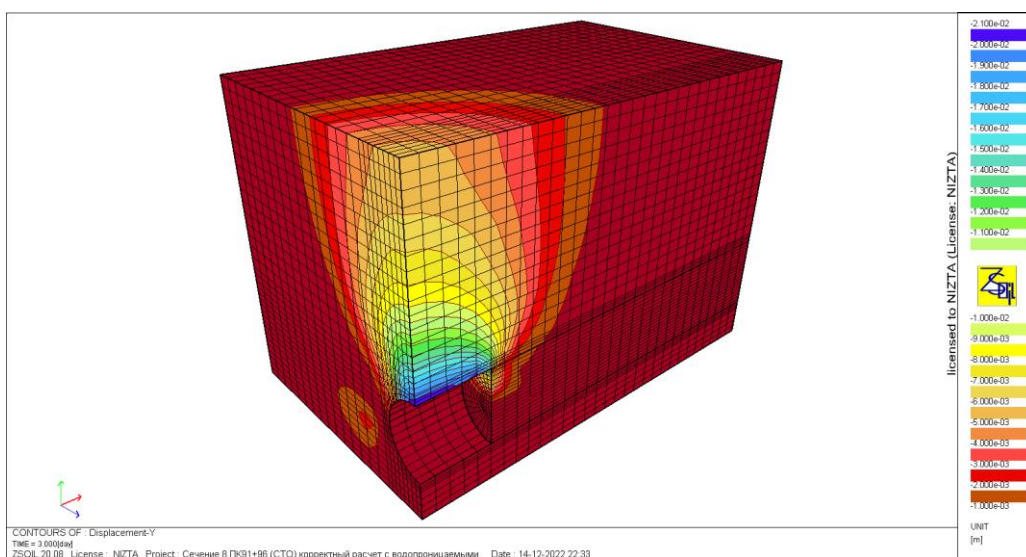


Рис. 15. Изополя вертикальных перемещений грунтового массива (при условии (а)). Значение осадки земной поверхности над шельгой забоя составляет 4,15 мм, радиус зоны влияния – 18 м перед забоем.

Из результатов расчетов методом конечных элементов видно, что при отсутствии информации о водонасыщенности грунтов в лотке перегонного тоннеля, проходка может быть осложнена возможной потерей устойчивости лба забоя (в случае фактического наличия порового давления в ИГЭ 43-3-3 в уровне лотка (случай 2)). Это может быть обусловлено тем, что при определении требуемого давления пригруза забоя может быть упущена необходимость учета гидростатического давления в глинистых грунтах с прослоями песка, дресвы и щебня.

Полученные коэффициенты устойчивости при рассмотренных вариантах говорят о том, что при фактическом наличии порового давления в грунтах в уровне лотка перегонного тоннеля будет присутствовать риск возникновения опасных (нештатных) ситуаций при производстве работ и аварийных ситуаций для сооружений окружающей застройки (S_f снижается с 3,8 (случай 1.а) до 0,8 (случай 2.а), что свидетельствует о недостаточности давления пригруза, противодействующего сдвиговым деформациям грунтового массива).

Нештатных ситуаций можно избежать при должном научно-техническом сопровождении проходки перегонных тоннелей с использованием ТПМК. На этапе проектирования и изысканий следует уделить особое внимание гидрогеологическим условиям проходки, а в дальнейшем, на этапе строительства, наблюдению за водоносными горизонтами по трассе тоннеля, как при устройстве гидронаблюдательных скважин, так и при контроле давления в забое ТПМК.

Значения расчетных вертикальных перемещений и радиуса зоны влияния, приведенные на рисунках 7, 12 и 15, свидетельствуют о том, что увеличение давления пригруза при щитовой проходке может частично компенсировать деформации, что может способствовать решению вопросов обеспечения сохранности и безопасной эксплуатации окружающей застройки при производстве работ.

ВЫВОДЫ

Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод о том, что при проектировании щитовой проходки определение оптимального значения давления пригруза забоя является важным аспектом с точки зрения обеспечения безопасности труда и сохранности зданий, сооружений и инженерных коммуникаций окружающей застройки. Решения, принятые в процессе проектирования, должны учитывать сложности инженерно-геологических условий и возможные неточности при их определении. Учет этих факторов при определении значений давления пригруза забоя с точки зрения действующих нагрузок на механизмы ТПМК в процессе проходки внесет значительный вклад в расширение имеющейся инженерной методики определения активного давления пригруза забоя ТПМК, применение которой при прогнозировании осадок земной поверхности в дальнейшем приведет к наиболее точным результатам, учитывающим влияние технологических особенностей щитовой проходки на деформации грунтового массива.

ЛИТЕРАТУРА

1. N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" от 30.12.2009
2. N 190-ФЗ "Градостроительный кодекс Российской Федерации" от 29.12.2004 (ред. от 02.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.10.2021), статья 48.1
3. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований»
4. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений»
5. СП 120.13330.2012 «Метрополитены»
6. СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011. «Освоение подземного пространства. Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки»
7. Руководство по проектированию и строительству тоннелей щитовым методом / пер. с англ. с доп. и коммент. В.Е. Меркина, В.П. Самойлова. - М. : Метро и тоннели, 2009. - 448 с

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСКЛЮЧЕННОЙ ИЗ РАБОТЫ РАСПОРКИ В ГЛУБОКОМ КОТЛОВАНЕ

А.В. Исаев

*Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений» (АО «ЦНИИПромзданий»), 127238, г. Москва, Дмитровское шоссе, дом 46, корп.2.
a.isaev@cniipz.com*

Аннотация

Устройство глубоких котлованов для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности выполняется под защитой ограждающей конструкции, которая, как правило, выполняется из монолитной железобетонной стены и распорной системы. В данной работе рассмотрен расчёт котлована глубиной 25 метров возведенного по технологии «стена в грунте» на противодействие прогрессирующему обрушению. Произведено численное моделирование восьми случаев выхода из строя распорного элемента с варьированием глубины заделки стены в грунте, расположения исключаемого элемента, а так же грунтовых условий. Показано, что рассматриваемая аварийное воздействие значительно влияет на напряженное-деформированное состояние «ограждающая конструкция- грунт». При исключении элементов возникают дополнительные усилия в окружающих элементах ограждения, а так же возрастают усилия в самой стене в грунте. Прогнозирование НДС системы «ограждающая конструкция грунт» в случае аварийного воздействия поможет предусмотреть риски, связанные с проведением строительно-монтажных работ, а так же разработать соответствующие защитные мероприятия, стоимость которых будет меньше, чем нанесённый ущерб.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, глубокий котлован, распорная система, особое сочетание нагрузок, аварийное воздействие, стена в грунте

ВВЕДЕНИЕ

В связи со стремительным развитием городского пространства всё чаще требуется использование подземного пространства. Данная необходимость связана с потребностями в развитии транспортной инфраструктуры, инженерных систем и обеспечения местами парковки личного автотранспорта [1].

При расчёте глубоких котлованов следует предусматривать так же и особые воздействия, наиболее вероятным из которых является выход из строя одного элемента распорной системы, который может привести к последовательному разрушению всего ограждения котлована или его части [2]. Поскольку данные котлованы обычно имеют огромные габариты (до 800 метров в длину) прогрессирующее обрушение даже его части катастрофично

В данной статье предоставлен расчёт ограждения котлована на особое сочетание воздействий в виде выхода из строя одного распорного элемента. Котлован выполнен под защитой распорной системы из стальных труб и железобетонной «стены в грунте». Рассмотрены несколько вариантов заглубления стены, выхода из строя распорок разных рядов, а так же различных грунтовых условий.

Описание методики моделирования

В книге [3] приведена иерархия методов ограничения непропорционального обрушения, а так же собрана таблица с требованием различных норм и стандартов о необходимости применения различных методов ограничения данного типа разрушения. К примеру, обязательный расчёт на прогрессирующее обрушение требовалось только в МГСН для жилых зданий высотой более 75 метров, а так же общественных зданий высотой более 50

метров. Так же такой расчёт требовался в американских нормах NYBC для зданий 4 уровня ответственности.

В соответствии с ГОСТ 27751-2014 прогрессирующее (лавинообразное) обрушение — это последовательное (цепное) разрушение несущих строительных конструкций, приводящее к обрушению всего сооружения или его частей вследствие начального локального повреждения.

В России нормативным документом по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения является СП 385.1325800.2018. В нём описаны три методики расчёта сооружения: в квазистатической, кинематической и динамических постановках.

Расчёт в квазистатической постановке производится на вторичной схеме, которая получается путём исключения из расчёта наиболее вероятно разрушаемого элемента из расчётной схемы нормальной эксплуатации. Для учёта мгновенности удаления элемента на месте исключаемого элемента возникают усилия, равные по модулю усилиям в данном элементе, но противоположные по знаку. В случае, если во вторичной схеме усилия в элементах превышают предельно допустимые, данные элементы так же удаляются и схема пересчитывается заново.

Расчёт в кинематической постановке заключается в определении наиболее вероятных механизмов разрушения, и далее производится проверка преобладания работы внутренних сил конструкции W над внешними нагрузками U

Расчёт в динамической постановке выполняется в три этапа. На первом этапе моделируется корректное напряженно-деформированное состояние на момент перед отказом элемента. На втором этапе происходит иницирующее воздействие в виде удаления элемента. На заключительном этапе происходит динамический расчёт конструкции с удаленным элементом в нелинейной постановке с соответствующими параметрами демпфирования. Данный расчёт выполняется путём прямого интегрирования уравнений движения, он более ресурсозатратный, однако позволяет, по сравнению с квазистатическим методом, уменьшить усилия во вторичной схеме.

Для определения дополнительных усилий, возникающих от исключения из работы был применен программный комплекс на основе метода конечных элементов midas FEA NX 2022. Размеры расчётной модели 290x140x42.5 м. исходя из условия не влияния граничных условий на результаты расчёта [4, 7]. Модель поведения грунта – Hardening Soil.

В качестве объекта исследования выбран котлован глубиной 25 метров с габаритами 20x140м, сооружённый под защитой стены в грунте толщиной 800 мм из бетона класса В25 с 5 ярусами распорок из трубы 720x10 стали класса С255. Шаг распорной системы: горизонтальный – 4,5 метра; вертикальный – 4 метра. Распределительные пояса выполнены из сдвоенного двутавра 40Б1 С255.

Было рассмотрено два вида грунта четвертичной системы:

- Супесь песчаная текучая аIII-IV+fII, модуль общей деформации 8 МПа, удельное сцепление 9 кПа, угол внутреннего трения 18°. Удельный вес грунта – 1,88 г/см³, плотность скелета грунта – 2,68 г/см³, коэффициент пористости – 0,64, показатель текучести 0,6.
- Песок средней крупности и крупный, прослоями гравелистый fIIok-dn, модуль общей деформации 33,7 МПа, удельное сцепление 1 кПа, угол внутреннего трения 33°. Удельный вес грунта – 1,90 г/см³, плотность скелета грунта – 2,67 г/см³, коэффициент пористости – 0,64.

Помимо грунта, так же варьировалась глубина заземления стены в грунте ниже dna котлована – суммарная глубина 30 или 37,5 м.

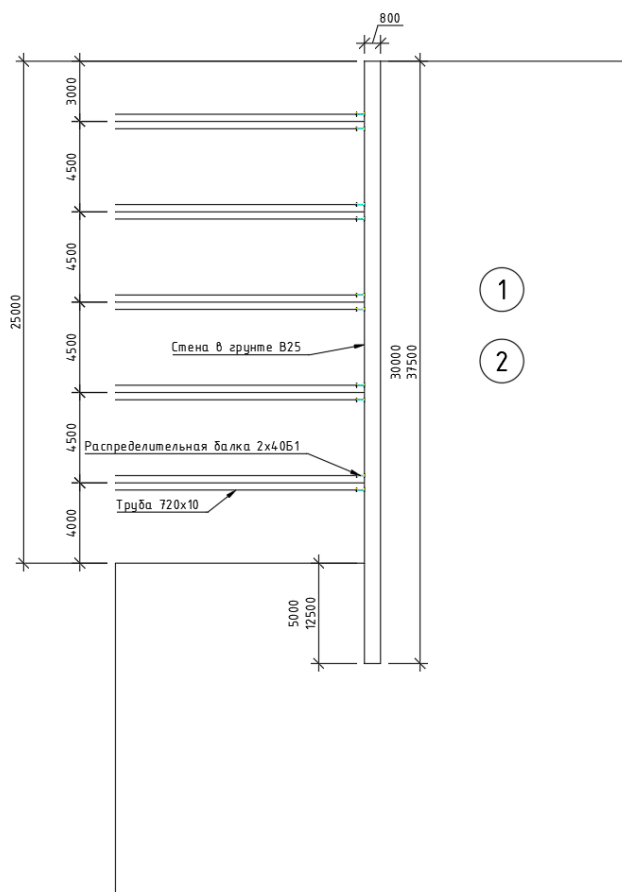


Рис. 1. Фрагмент поперечного сечения котлована

В качестве расчётного случая рассматривался выход из строя распорки по центру котлована нижнего или предпоследнего яруса. Данный выбор обусловлен тем, что на данные распорки действуют максимальные усилия, а так же минимален угловой эффект [5].

В качестве отклика системы рассматриваются усилия в близлежащих распорках (с и без учёта коэффициента динамичности), поясах и стене в грунте (с учётом коэффициента динамичности).

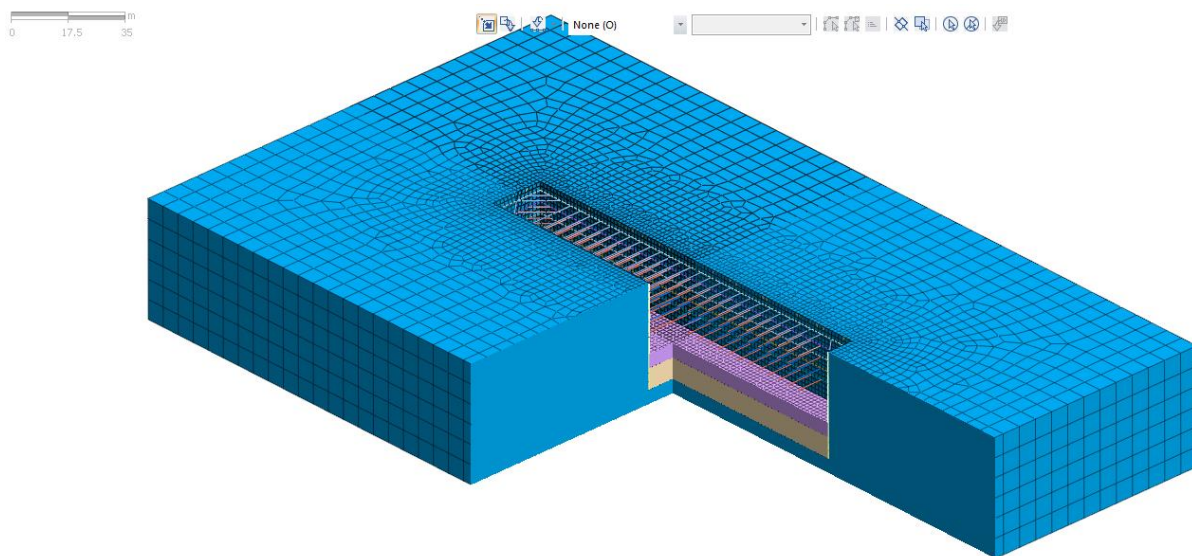


Рис. 2. Конечно-элементная схема на этапе выемки до дна котлована (часть схемы вырезана)

Моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) происходит путём поэтапного моделирования строительства. После финального моделирования НДС грунта добавляется стадия с исключением из работы элемента распорной системы и возниканием на его месте усилий, противоположных по направлению усилиям в данном элементе.

При решении численной задачи рассмотрено восемь расчётных ситуаций и определены усилия в ограждающей конструкции на стадиях финальной откопки котлована и стадии с исключенной распоркой последнего или предпоследнего яруса.

РЕЗУЛЬТАТЫ

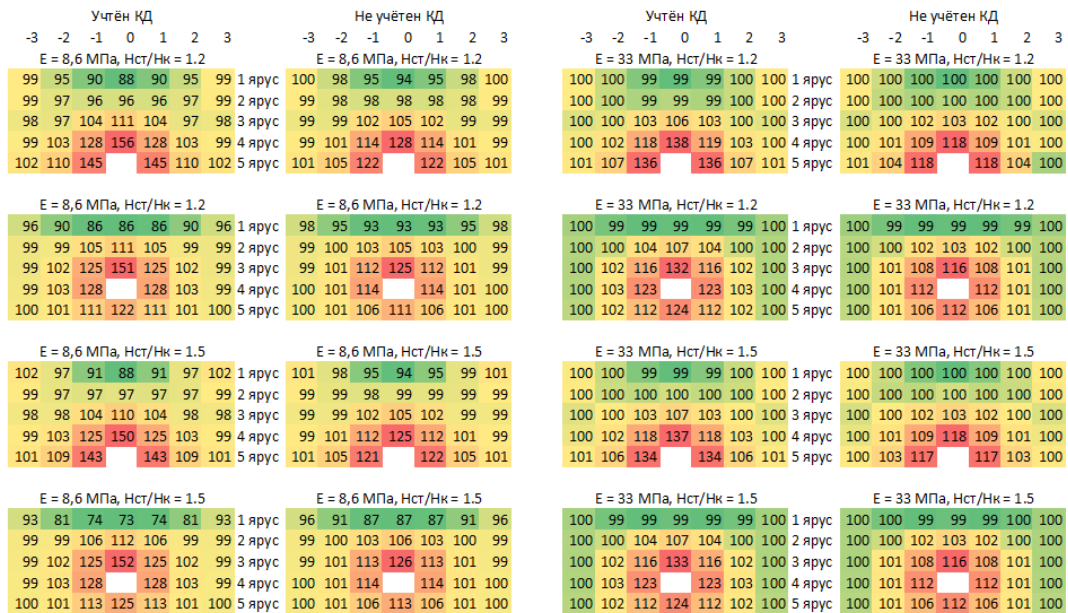


Рис. 3. Доля продольных усилий в распорках на стадии исключения распорки по сравнению со стадией финальной раскопки

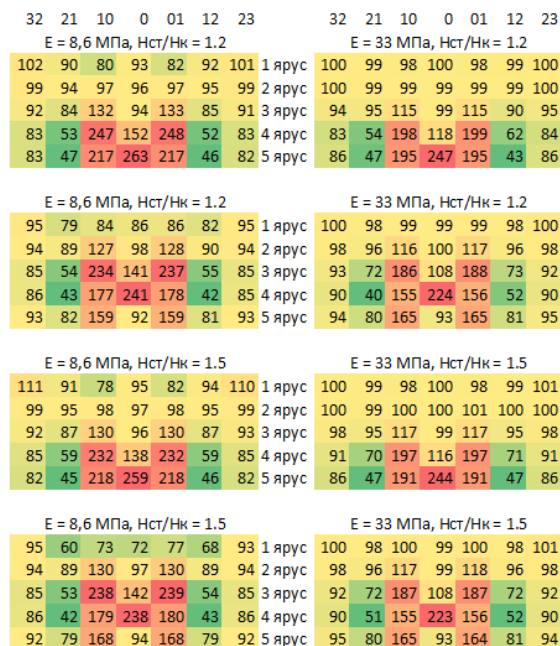


Рис. 4. Доля изгибающих моментов в распределительных балках на стадии исключения распорки по сравнению со стадией финальной раскопки

На рис. 3,4 приведено сравнение усилий в ближайших к исключаемой распорках, в котором демонстрируется изменение усилий в ограждающей конструкции. По результатам расчётов можно сделать следующие выводы:

Распорки

1. Если не учитывать коэффициент динамичности, то усилия в близлежащих распорках уменьшаются на 25-30%;
2. В случае грунта супеси песчаной при отказе распорки наблюдается разгрузка 1 яруса распорной системы;
3. При отказе распорки последнего ряда наиболее нагруженными распорками становятся соседние по ярусу, однако наибольший прирост в долях от номинальной нагрузки наблюдается у распорки, находящейся над отключаемой распоркой;
4. При отказе распорки предпоследнего ряда наиболее нагруженными распорками являются распорки, расположенные под и над отключаемой распоркой;
5. Исходя из рассмотренных случаев дополнительные усилия в распорках дальше 3-го шага пренебрежительно мало.
6. При увеличении глубины заделки стены в грунте в супеси песчаной дополнительные усилия в окружающих распорках от исключения распорки из работы уменьшаются от 5% до 21% (ближайшие по ряду распорки). Влияние глубины заделки в песке средней крупности не более 10% (ближайшие по ряду распорки)

Распределительные балки

1. В случае грунта супеси песчаной при отказе распорки наблюдается разгрузка 1 яруса распорной системы;
2. Глубина заделки стены в грунте при отказе распорки предпоследнего ряда не влияет на перераспределение усилий в балках;
3. На 2-3 пролёте от отключаемой распорки наблюдается снижение момента
4. При увеличении глубины заделки стены в грунте в супеси песчаной дополнительные усилия в распределительных балках от исключения распорки из работы уменьшаются от 2% до 41% (балка, ярусом выше исключаемой). Влияние глубины заделки в песке средней крупности не более 14% (так же, как и в случае с супесью)

Стена в грунте

1. Наибольший прирост изгибающего момента наблюдается в месте отключаемой распорки, а так же на распорке, расположенной над отключаемой;
2. Значения номинальных моментов между различными глубинами заделками различаются от 1,25 до 10 раз;

В соответствии с п. 5.1-5.2 СП 385.1325800.2018 при расчёте сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения материалов принимают равными их нормативным значениям, а так же вводятся дополнительные коэффициенты условий работы конструкций. Для стали класса С255 принимаются следующие характеристики (в соответствии с СП 16.13330.2017):

Таблица 1 Характеристики стали С255

Класс стали:	С255	
Модуль упругости:	E=206000,0	МПа
Расчетное сопротивление стали по пределу текучести при толщине проката:		
от 2 до 20 мм	Ry=240,0	МПа
свыше 20 до 40 мм	Ry=230,0	МПа
Нормативное сопротивление стали по пределу текучести при толщине проката:		
от 2 до 20 мм	Ryn=245,0	МПа
свыше 20 до 40 мм	Ryn=235,0	МПа

Дополнительный коэффициент работы стального сечения в соответствии с п. А.2 СП 385.1325800.2018 равен 1,1

При расчёте на прогрессирующее обрушение прочность стали принимается приблизительно на 14.6% выше её расчётного значения, что позволяет оптимизировать дополнительные мероприятия по недопущению прогрессирующего обрушения

Расчёт смежных от исключаемого элементов производился по методике СП 16.133330.2017 [6], где расчётные значения прочности стали заменяются на нормативные.

Несущая способность распорного элемента при нормальной эксплуатации – 3629 кН.
Несущая способность распорного элемента при аварийном воздействии – 4120 кН.

Заключение

Поставлена и решена задача о выходе одной распорки из строя при проектировании ограждения котлована. Полученные решения, основанные на анализе работы ограждения котлована совместно с грунтовым массивом позволяют оценить изменения напряженно-деформированного состояния системы «ограждение котлована – грунт»

Увеличение внутренних усилий при рассмотренных ситуациях должно быть обеспечено несущей способностью конструкции при рассмотрении данного особого сочетания нагрузок.

Показано, что исключение элемента крепления ограждающей конструкции характеризуется как перераспределением усилий между распорками и распределительными балками, так и изменением усилий в стене в грунте. Усилия в ближайших к отключаемой распорках увеличивается не более, чем на 56%, а усилия в распределительных поясах – на 163%. Глубина заделки стены в грунте помогает в супеси песчаной, разгружая элементы ограждающей конструкции от дополнительных усилий вплоть до 41%. Для уточнения усилий, связанных с выходом одного распорного элемента можно провести расчёт ограждения в динамической постановке.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Колыбин И.В.* Уроки аварийных ситуаций при строительстве котлованов в городских условиях // Развитие городов и геотехническое строительство. 2008. № 12. С. 90-124.
2. *Петрухин В.П., Колыбин И.В., Разводовский Д.Е.* Ограждающие конструкции котлованов, методы строительства подземных и заглубленных сооружений. Т. 12. // В кн.: Российская архитектурно-строительная энциклопедия. 2008. С. 212-219.
3. *Грачев В. Ю., Вершинина Т. А., Пузаткин А. А.* Непропорциональное разрушение. Сравнение методов расчета. Екатеринбург: Ажур, 2010.
4. *Авасенов В.С., Гримайло И.А.* Расчёт ограждения котлована при выходе грунтового анкера из строя // Геотехника. 2019. Т. 2. С. 54-63.
5. *Chang-Yu Ou, Dar-Chang Chiou, Tzong-Shiann Wu.* Three-Dimensional Finite Element Analysis of Deep Excavations // Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 122, No. 5, 1996. pp. 337-345.
6. *Ter-Martirosyan A., Sidorov V.* Studying the influence of taking into account the elastic-plastic behavior of strut elements on the retaining system equilibrium // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1030. P. 012030.
7. *Znamenskiy V., Morozov, E., Pekin D., Chunyuk D.* The modeling of the «diaphragm wall» with the anchor without the use of distribution beams // E3S Web of Conferences. 2019.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ

Ю.О. Бакрунов¹, Е.Ю. Васильева²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹ybakrunov@yandex.ru

²elena.chibisova_metr@mail.ru

Аннотация

В работе были исследованы проблемы снижения риска и вероятности аварий на строящихся и эксплуатируемых зданиях и сооружениях с помощью применения современных BIM-технологий. Изучены статистические источники и результаты социологических исследований, проведенных в России и за рубежом. В ходе исследования были применены системный подход, сравнительный и статистический анализ, метод социальных опросов. Оригинальность подхода авторов к проблеме исследования заключается в том, что были выделены аспекты производственной, пожарной, экологической, информационной, и экономической безопасности здания. Подчеркнута роль этапа проектирования и значимость ошибок, допущенных на этом этапе для будущей безопасности строительных работ и всего здания. Авторами сформулированы преимущества BIM-технологий и предоставляемые ими возможности в вопросах обеспечения безопасности строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений.

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность зданий сооружений – важнейшая проблема, охватывающая целый аспектов: от информационной безопасности данных при разработке проекта, а также безопасности данных при его эксплуатации, до безопасности рабочих в процессе производства строительно-монтажных работ, безопасности эксплуатации построенного объекта, и до экономической безопасности участников инвестиционно-строительного проекта [1, 2].

Многие вопросы безопасности, снижения рисков могут быть учтены уже на этапе проектирования объекта, ведь именно ошибки и неточность, недостаточность информации при проектировании могут привести к негативным последствиям: привести к обрушению частей строящегося здания, сбоям в работе инженерного оборудования нарушению безопасности на строительной площадке, увеличению сроков и удорожанию строительства и т.д. Технологии BIM (Building Information Modeling или Building Information Model) дают возможность заблаговременно выявить риски и «тонкие» места строительного проекта.

Кроме того, сегодня многие эксперты понимают BIM не только как информационную модель здания, а как информационную модель всего процесса строительства, а также – последующую эксплуатацию, обслуживание, ремонт и реконструкцию [3, 4]. Данная технология аккумулирует все сведения, необходимые для реализации строительного проекта на всех его этапах. Кроме того, опыт внедрения BIM показывает, что его внедрение позволяет устранить коллизии, возникающие в процессе строительства из-за ошибок проектирования, снизить риски некачественного проектирования, в том числе – устранить «человеческий фактор». И наконец, помимо чисто технических моментов, BIM позволяет контролировать затраты по проекту, что немаловажно с экономической точки зрения

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках исследования были применены системный подход, сравнительный и статистический анализ, метод социальных опросов.

Материалами для настоящего исследования послужили статистические данные [5] результаты социальных опросов, проводившихся среди представителей российских строительных компаний [6].

Также в качестве теоретической базы исследования были изучены работы авторов, посвященные вопросам внедрения в строительную деятельность современных информационных технологий, таких как: Р.Г. Абакумов, Б.Е. Величковский, Я.В. Жаров, М.Ш. Мустафин, О.И. Пакидов, М.В. Пастухова, С.Ю. Пириева, К.В. Постнов, В.В. Талапова, Л.А. Трофимова, А.В. Смирнова, Ю.Н. Чудинов, Н.Ю. Яськова и другие. Несмотря на уже внушительный, не смотря на новизну темы, список авторов, приходится отметить, что не все преимущества BIM-технологий были охвачены их вниманием. В частности, нуждается в более детальном изучении влияние BIM на безопасность строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

BIM имеет целый ряд особенностей, которые в конечном счете обеспечивают преимущества данной технологии (см. рис. 1) [7, 8].

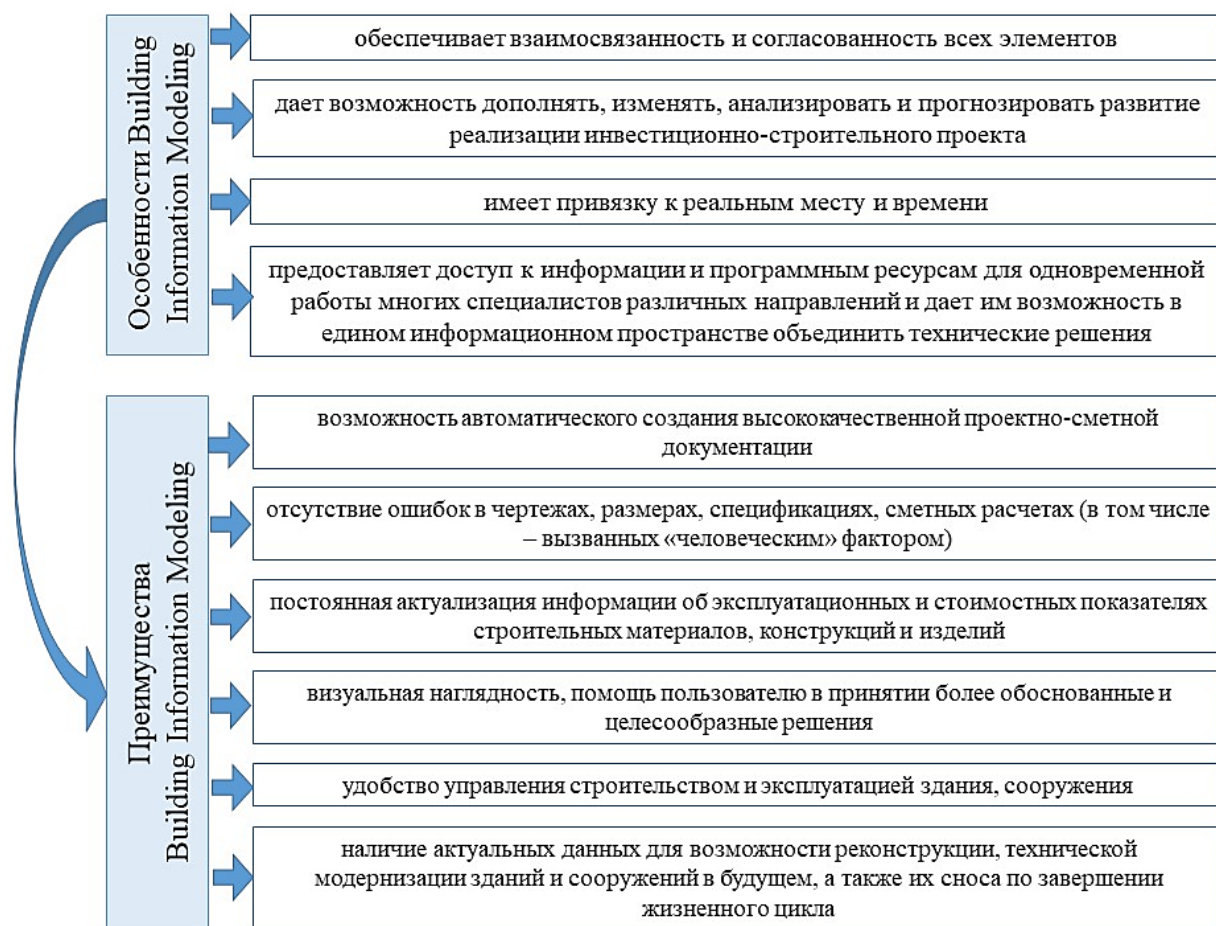


Рис. 1. Особенности и преимущества BIM-технологий

Важной составляющей инновационного подхода BIM считается возможность визуального моделирования самого процесса строительства, в ходе которого каждый из участвующих в проекте специалистов может отследить реализацию заложенных им технических решений и их взаимодействие со смежниками. При моделировании эксплуатации объекта имеется возможность наблюдать за работой предусмотренного проектом оборудования и делать выводы об удовлетворительности его параметров [9].

Анализируя как теоретические работы различных ученых, так и фактический материал (статистику и результаты социологических исследований) авторы предлагают

выделить несколько аспектов безопасности строительства и эксплуатации зданий и сооружений:

- производственный;
- пожарный;
- экологический;
- информационный;
- экономический.

В таблице 1 представлены основные преимущества применения BIM-технологий с точки зрения каждого из аспектов.

Таблица 1. Влияние BIM-технологий на различные аспекты безопасности строительства и эксплуатации зданий (составлено авторами по [1, 2, 10, 11, 12])

Аспект безопасности	Влияние BIM-технологий
Производственный	<p>1. Возможно производить инструктажи по технике безопасности не только в административно-бытовых помещениях или перед выходом на стройплощадку и началом работ, но и удаленно для рабочих на каждом участке работ.</p> <p>2. Возможно отражать постоянные изменения ситуации на стройплощадке, передвижение техники, персонала. Производится непрерывный автоматизированный контроль за соответствием физического состояния объекта модели. В результате возможно предотвращение чрезвычайных ситуаций, равно как и скорейшая реакция и адекватность действий сотрудников и спасателей в ходе ее ликвидации. Снижается риск происшествий из-за неинформированности или несвоевременного предупреждения.</p> <p>3. Имеется точный и постоянно актуализируемый план эвакуации.</p>
Пожарный	<p>1. Наличие электронного (цифрового) плана здания помогает смоделировать опасную ситуацию и разработать алгоритм ее разрешения. Цифровой план полезен пожарным при тушении пожара в условиях сильной задымленности.</p> <p>2. АИС гарантируют корректную и бесперебойную работу инженерных систем, что предотвращает аварийные ситуации. Технолог может контролировать работу инженерных систем здания. В случае чрезвычайной ситуации АИС проинформирует и осуществит автоматически необходимые действия.</p> <p>3. Информационная модель поможет осуществлять мониторинг безопасности объекта в режиме реального времени в соответствии с заданными характеристиками, в том числе определить местонахождение людей в здании и помочь осуществить безопасную эвакуацию. Все это в конечном итоге приводит к уменьшению количества отходов строительных материалов, выбросов вредных веществ от работающих машин и механизмов, снижению коэффициента использования строительной площадки, увеличению коэффициентов использования машин по времени и грузоподъемности и т.д., в целом к сохранению экологического равновесия окружающей среды.</p>

Экологический	<p>1. Внедрение BIM-технологий приводит к значительному сокращению продолжительности строительства, а экологическая безопасность на строительной площадке обеспечивается как раз за счет соблюдения нормативной продолжительности строительства или ее сокращения.</p> <p>4. Мониторинг ситуации на стройплощадки или на эксплуатируемом объекте позволяет либо вовсе избежать аварий и ущерба экологии, либо минимизировать последствия.</p>
Информационный	<p>1. С помощью BIM возможна виртуальная визуализация любого объекта. Здание или его часть (например, крыша) могут быть рассмотрены в 3-D, обсуждены и проанализированы без нахождения людей в опасных условиях.</p> <p>2. Возможна интеграция действий каждого участника работы в модель и улучшение обмена информацией между участниками инвестиционно-строительного проекта</p> <p>3. Использование BIM облегчает выявление опасных факторов на ранних этапах, что дает разработчикам возможность ликвидировать или смягчить риски еще до того, как начнется работа. И даже когда невозможно устранить угрозы, работники могут быть подготовлены и обучены технике безопасности заранее.</p> <p>4. В руках злоумышленников информация о конструкции здания, его планах, инженерных системах может создать серьезную угрозу безопасности. Современное BIM дает защиту информации проекта.</p>
Экономический	<p>Снижая вероятность неожиданного изменения проекта, увеличения продолжительности строительства (и стоимости стройматериалов за это время), простоев, а также банальных ошибок в сметных расчетах, BIM снижает риск неэффективности инвестиционно-строительного проекта.</p>

Важный момент, который следует учитывать, ожидая положительного эффекта от Building Information Modeling – это зависимость успешности применения BIM-технологий, и в том числе – экономической эффективности их внедрения, от квалификации и опытности пользователя. Эту зависимость подтверждают как зарубежные статистические источники [4] так и результаты исследования, проведенных отечественными учеными [14, 15]. Именно потому, что опытные пользователи добиваются лучших результатов, рекомендуется привлекать в компанию, внедряющую BIM, хотя бы нескольких таких.

ВЫВОДЫ

Применение BIM-технологий позволит оперативно проводить оценку опасных и вредных производственных факторов на объекте строительства.

Разумеется, внедрение BIM-технологий требует определенных затрат, но при успешной реализации, они оправданы теми результатами, который приносит Building Information Modeling.

Упреждая увеличение сроков строительства, BIM-моделирование не только прекращает рост расходов, но и снижает экологическую нагрузку от проекта и снижает затраты на компенсацию вреда экологии, ландшафту, здоровью населения. Предотвращая риски аварий во время производства строительных работ, оно снижает стоимость (за счет незапланированных расходов материальных и трудовых ресурсов). За счет отсутствия поздних внесений изменений в проект повышается производительность труда без

необходимости повышения трудоемкости, без роста экстенсивной нагрузки на рабочих, которая могла бы привести к нарушению техники безопасности на строительной площадке и травматизму. Поскольку применение BIM-технологий позволяет уже на стадии проектирования объекта обеспечить надлежащий контроль за всеми операциями, а также есть место BIM и на всех остальных стадиях инвестиционно-строительного проекта, в результате повышается и уровень производственной безопасности строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Повышение производственной безопасности, снижение травматизма, сокращение ущерба, наносимого во время аварий специальной и строительной технике, означают сокращение расходов на компенсации пострадавшим, на ремонт техники, сокращает время простоев, а это – это еще одно направление сокращения стоимости реализации строительного проекта. Обеспечивая информационную безопасность данных о проекте, BIM-технологии позволяют избежать финансового ущерба из-за действий недобросовестных конкурентов.

Поскольку все перечисленные направления влияния BIM на безопасность можно представить как снижение риска дополнительных (зачастую нерациональных) расходов и удорожания проекта, то правомерно вести речь о положительном влиянии на экономическую безопасность проекта (снижение риска его экономической неэффективности).

С другой стороны, не все результаты применения BIM поддаются формализации и денежной оценки. Так, снижение аварийности и травматизма имеют еще и положительный социальный эффект. А сокращение сроков строительства, отсутствие большого количества неожиданных изменений в проекте, сокращение экологического ущерба снижают риск для репутации строительной компании.

Таким образом, влияние BIM-технологий на повышение безопасности строительства и эксплуатации зданий и сооружений не просто велико, оно носит многосторонний, комплексный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Маковецкая-Абрамова О.В., Лунова С.К., Гаврюшина А.Г.* BIM-технологии на службе обеспечения безопасности населения // ТТПС. 2020. №2 (52). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bim-tehnologii-na-sluzhbe-obespecheniya-bezopasnosti-naseleniya> (дата обращения: 19.12.2022).
2. *Рахматуллина Е.С.* BIM-моделирование как элемент современного строительства. // Российское предпринимательство. 2017. Том 18. No 19. С. 2866. doi: 10.18334/rp.18.19.38345.
3. *Лушников А.С.* Обеспечение качества, стоимости и сроков реализации инвестиционно-строительных проектов на основе внедрения информационного моделирования. Дисс. на соискание ученой степени к.э.н. Специальность: 08.00.05 –Санкт-Петербург. «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». 2018. 157 с.
4. *Лушников А.С.* Оценка эффективности использования технологий информационного моделирования при реализации инвестиционно-строительных проектов // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 5(58). С. 186-194.
5. *McGraw-Hill Construction.* Статистический анализ – обзор тенденций развития технологии BIM в США и Канаде 2007-2012 гг. // URL:
6. *Kisel T.* Dynamics of the level of BIM application in Russia in 2017-2019. E3S Web Conf., 220 (2020) Art. num.01025. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022001025>
7. *Новоковский К.* Так ли эффективны BIM технологии проектирования, как об этом говорят? [Электронный ресурс] URL: <https://elima.ru/articles/?id=106> (дата обращения: 18.12.2022)
8. *Нуждин А.Д.* Тренды развития информационных технологий в строительной сфере России и США // Автоматизация и ИТ в условиях цифровизации. С. 99-104 [Электронный ресурс] URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/116717/1/978-5-91256-557-1_2022_019.pdf
9. *Минеева А.В., Кочнева М.Е.* Проблемы внедрения BIM-технологий в строительную отрасль в целях выпуска сметной документации // Евразийское научное объединение. № 12-1 (58). 2019. С. 53-57.
10. *Король Е.А., Бакрунов Ю.О., Луняков М.А.* Перспективные направления развития научных исследований в области повышения безопасности труда в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2022. № 9 (1057). С. 16-18.
11. *Аленьков В.В., Куприяновский В.П., Шаклеин А.Г., Овсянников М.А., Чеботарев Е.М., Ярцев Д.И., Колесников А.Н.* Использование структурированной информации BIM для охраны здоровья и

- безопасности работающих в строительстве. // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 6, no.5, 2018. – С. 39-49.
12. *Молочникова Д.А.* BIM технологии как ключ к безопасности труда на строительной площадке // StudNet. 2022. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bim-tehnologii-kak-klyuch-k-bezopasnosti-truda-na-stroitelnoy-ploschadke> (дата обращения: 20.12.2022)
 13. *Абрамян С.Г., Котляревская А.В., Оганесян О.В., Бурлаченко А.О., Дикмеджян А.А.* Интеграция BIM и ГИС технологий в целях обеспечения экологической безопасности строительства // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. №5 (95). URL: <https://research-journal.org/archive/5-95-2020-may/integraciya-bim-i-gis-tehnologij-v-celyax-obespecheniya-ekologicheskoy-bezopasnosti-stroitelstva> (дата обращения: 12.12.2022). doi: 10.23670/IRJ.2020.95.5.004
 14. *Верстина Н.Г., Кисель Т.Н., Кулаков К.Ю.* Внедрение инновационных технологий на предприятиях инвестиционно-строительной сферы: проблемы и определяющие факторы // E-Management. 2022. Т. 5. № 1. С. 4-13.
 15. *Васильева Е.Ю.* Обязательный переход на BIM-технологии: кому он нужен и насколько к нему готовы отечественные компании? // Сметно-договорная работа в строительстве. 2022. № 4. С. 36-47. DOI: 10.33920/str-01-2204-05

Секция 6. Организационно-
методические и общетехнические
вопросы в строительстве

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ ОТ ДЕМОНТАЖА ЗДАНИЙ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Д.М. Мазурин¹, М.Е. Дементьева²

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, ГК КрашМаш, 115054, г. Москва, ул. Дубининская, д.57 стр.2,

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹7dem@mail.ru

²dima.mazurin2017@yandex.ru

Аннотация

Постоянный рост численности населения мира, которое на данный момент составляет порядка 8,03 миллиардов человек, приводит к необходимости увеличения объемов строительства нового жилья, а также сооружений различного функционального назначения для обеспечения комфортных условий жизнедеятельности. В связи с этим существенным фактором повышения эффективности строительной отрасли является, с одной стороны, скорость возведения жилых домов, а с другой стороны, минимизация ущерба экосистеме на основе рационального использования ресурсов. В статье рассматривается одно из направлений сокращения потребляемых ресурсов путем вовлечения отходов, образующихся при строительстве, во вторичное использование в строительной и жилищно-коммунальной сферах. Предметом исследования является изучение возможностей повышения доли отходов строительства, вовлекаемых в экономический оборот, для трехмерной печати зданий. Целью исследования является оценка структуры строительных отходов, получаемых при ликвидации жилых зданий, с точки зрения возможности их применения в аддитивных технологиях. На основе методов критического анализа выполнен обзор государственных проектов и программ в области экономики замкнутого цикла, составлена матрица SWOT-анализа перспектив использования строительных отходов как сырья для 3D-печати зданий. Результатом исследования является разработка рекомендаций по использованию строительных отходов с учетом особенностей выбранных технологий сноса зданий.

ВВЕДЕНИЕ

По данным Минэкономразвития РФ жилищный фонд и коммунальная инфраструктура являются самой ресурсоемкой сферой. Так, на здания и сооружения приходится треть всех потребляемых материалов. Помимо этого на сегодняшний момент в связи устареванием зданий и сооружений, и, вследствие этого, необходимостью реновации существующей застройки растет количество демонтируемых зданий и накапливается все больше строительных отходов [1-4]. Так, по данным Росстата за последнее десятилетие масса образующихся строительных отходов в нашей стране возросла более чем в 8 раз. Поэтому актуальной проблемой является необходимость совершенствования подходов к регулированию деятельности в строительной отрасли путем перехода от линейной экономической модели к циклической. Такая эволюция подразумевает в частности переход от классического потребления ресурсов к их переработке и многократному использованию. Для решения этой задачи разработан федеральный проект «Экономика замкнутого цикла», предполагающий принципиально новый подход к ведению деятельности в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве. Одним из показателей государственной программы служит индекс использования вторичных ресурсов из отходов в различных отраслях экономики нашей страны.

В рамках паспорта федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» в октябре 2022 года утверждена отраслевая программа «Применение вторичных ресурсов,

вторичного сырья из отходов в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства на 2022-2030 годы». Программа устанавливает амбициозные цели по использованию к 2030 году до 40% вторичных ресурсов в сырье для производства продукции и материалов в строительстве при постепенном запрете на захоронение строительных отходов, пригодных к вторичному хозяйственному обороту.

Одним из возможных вариантов вторичного использования строительных отходов является их применение при 3D-печати зданий. Технология 3D-печати зданий из строительных отходов позволяет сократить сроки сдачи и финансовые затраты проекта, а также автоматизировать ручной труд и минимизировать риски производственных травм. Анализ научных исследований показывает, что в аддитивных технологиях по большей части применяется бетонный бой, отходы из гипсовых композиционных материалов, добавки стекловолокна в цементно-песчаную смесь, проводятся исследования проблемы совмещения различных материалов с портландцементом [5, 6]. Существенным преимуществом аддитивной технологии, при которой используются строительные отходы от демонтажа зданий для чернил трехмерного строительства, является минимальный ущерб окружающей природе. Недавний пример китайской компании WinSun доказал, что для строительства зданий может использоваться компонент, который состоит из смеси на цементно-песчаной основе. К ней добавляют отходы строительства, а также армирующие волокна и специальные добавки. Для печати использовался 3D-принтер огромных размеров, который позволил строить здания разной этажности (рис. 1).



Рис. 1. Примеры зданий, построенных с применением аддитивных технологий

Недостатком такой технологии является необходимость больших производственных площадей, подготовка специально обученного обслуживающего персонала. Также в такой технологии выявлена проблема нефункциональной опалубки.

Другой пример использования строительных отходов показывает возможности печати отдельных элементов здания. Так, в Нидерландах ученые, представляющие лабораторию Sabin Design при Корнельском университете, спроектировали строительные блоки под названием PolyBricks, не требующие традиционных клеящих составов (рис. 2).



Рис. 2. Строительные блоки, созданные с применением аддитивных технологий

Детали соединяются под действием силы тяжести, сокращая расход материалов за счет отказа от расхода цементной смеси и снижения трудозатрат на ручные работы [7].

Выполненный анализ научных работ, а также практического зарубежного опыта, подтверждающего целесообразность применения строительных отходов для печати зданий, позволил определить цель данного исследования, которая заключается в изучении структуры строительных отходов, полученных при разных технологиях сноса зданий, для оценки возможности их применения в массовой трехмерной печати (строительстве) зданий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является структура строительных отходов, образующихся при ликвидации 7-этажного здания с учетом особенностей выбранной технологии сноса. Предметом исследования является оценка целесообразности использования полученных при сносе строительных отходов для вторичного хозяйственного оборота на основе аддитивных технологий. Изучение проектной документации позволило подобрать целесообразный с точки зрения возможностей вторичного использования строительных отходов метод демонтажа – поэлементную разборку конструкций. В частности, конструктивная схема надземной части рассматриваемого здания представляет собой железобетонный каркас, с несущими железобетонными колоннами, балками и плитами перекрытий. Колонны в уровне подвала выполнены монолитными железобетонными сечением 520×870 мм, в уровне с 1 по 7 этаж – сборными железобетонными 2-х консольными, сечением 350×550 мм, в уровне технического этажа – кирпичными, сечением 510×510 мм. Наружные стены кирпичные толщиной 501 мм, перегородки гипсобетонные толщиной 80-100 мм (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид внутренних помещений ликвидируемого здания

Структура отходов определена по результатам натурных наблюдений за процессом сноса здания с фотофиксацией основных этапов производства работ. Исследование основано на методах системного критического анализа и синтеза научно-технической и нормативной информации, а также применения SWOT-анализа для структурированной оценки перспектив использования строительных отходов в аддитивных технологиях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате ликвидации зданий образуются различные виды строительных отходов, к основным из которых можно отнести бетонный бой, железобетонные изделия, битый кирпич, древесину, металлолом [8-10]. К остальным отходам относятся асфальт, рубероид, битум, бой стекла и керамической плитки, замусоренный грунт (рис. 4).

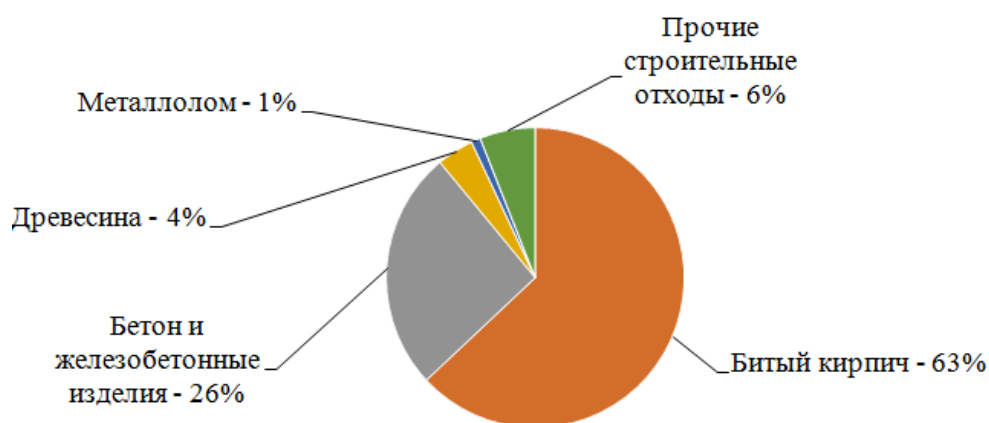


Рис. 4. Номенклатура строительных отходов

Анализ научных исследований показывает, что для 3D-печати зданий чаще всего используют бетонный бой и отходы из гипсовых вяжущих, составляющие порядка 30% от общего объема строительных отходов. В связи с этим была поставлена задача проанализировать номенклатуру строительных отходов для их возможного использования в 3D-печати на примере конкретного объекта – демонтируемого 7-этажного здания. Все демонтажные работы можно подразделить на две основные группы: собственно, демонтаж (разборка) и удаление материалов от разборки [11]. В ходе демонтажа несущих и ненесущих конструкций рассматриваемого здания с применением средств малой механизации были образованы строительные отходы, основными получаемыми материалами которых является бетон, арматура, кирпичный бой и отходы из гипса. Далее в таблице 1 были обобщены возможности их применения в качестве материала для строительства зданий с применением 3D-принтера.

Таблица 1. Получаемые материалы от демонтажа здания и оценка возможности их применения в 3D-печати зданий

Наименование конструкций	Количество получаемых отходов, м3 твердого тела	Получаемый материал	Возможность применения для 3D-принтеров
Демонтаж ж/б ребристых плит перекрытия	1274,8	Бой бетона, арматура	частично
Демонтаж ж/б балок перекрытия	437,1	Бой бетона, арматура	частично
Демонтаж ж/б колонн	362,5	Бой бетона, арматура	частично
Снос наружных кирпичных стен	226,5	Бой кирпича	нет
Разборка гипсобетонных перегородок	95,26	Отходы из гипса	да

Из общего объема твердого тела здания при разделении строительных отходов на материалы, процент их повторного применения для 3D-печати составил 86%. Необходимо отметить, что арматура от железобетонных конструкций вывозится отдельно на пункт сбора металла и в дальнейшем будет переработана в другие изделия.

Изучение результатов отечественного и зарубежного практического опыта применения строительных отходов в 3D-печати показывает, что необходимо придерживаться определенных критериев. Первый критерий – это так называемый «закон сродства структуры», который подразумевает подбор компонентов смеси для 3D-принтеров, основанный на системе взаимодействия с окружающей средой [1]. Следующие критерии эффективности использования строительных отходов для аддитивных технологий взаимосвязаны между собой. Первый критерий определяет послойное

сцепление материала и частоту армирования слоев. Второй критерий характеризует скорость твердения. Необходимо подобрать такой интервал между выполнением слоев, чтобы с одной стороны обеспечить сцепление между ними, а с другой стороны обеспечить их достаточную прочность, чтобы слои выдерживали вес и не осаждались [12, 13].

По результатам аналитического обзора нормативных правовых актов и технических документов в области экономики замкнутого цикла и вторичного использования строительных отходов были выявлены факторы, определяющие перспективы использования строительных отходов как сырья для 3D-печати зданий и составлена матрица SWOT-анализа (рис. 5).

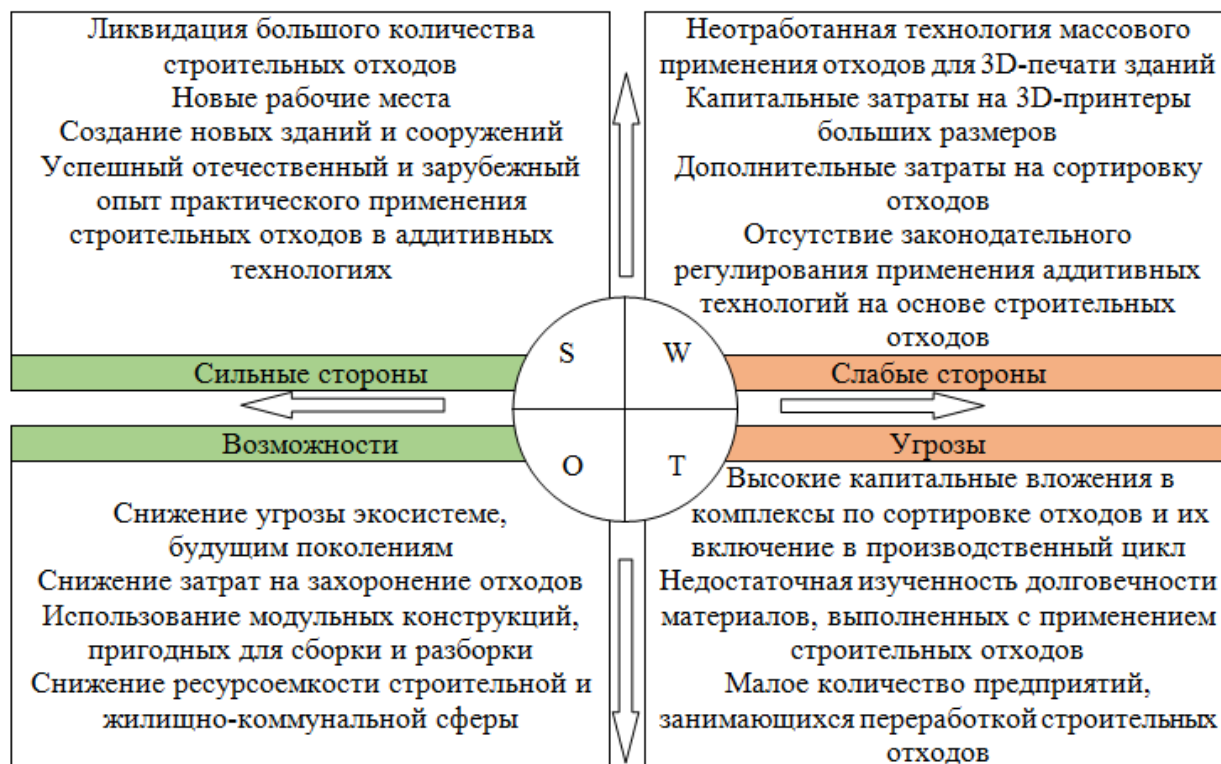


Рис. 5. SWOT-анализ перспектив применения строительных отходов для как сырья для 3D-печати зданий

ВЫВОДЫ

В статье проанализирована проблема вовлечения отходов, образующихся при сносе объектов капитального строительства в экономический оборот на основе применения аддитивных технологий. Выполненный анализ научных исследований и зарубежного опыта применения строительных отходов для 3D-печати зданий показывает, что в настоящее время основными используемыми материалами являются бетонный бой и отходы гипсовых вяжущих, которые составляют в среднем около 30% от общего объема получаемых при сносе отходов. По результатам натурных наблюдений за процессом сноса 7-этажного здания установлено, что возможности повторного использования строительных отходов гораздо шире и составляют порядка 86% от общего объема твердого тела здания. Также были выделены критерии эффективного использования строительных отходов в аддитивных технологиях. Составлена матрица SWOT-анализа, позволяющая оценить перспективы использования строительных отходов как сырья для 3D-печати зданий. Практическое значение данной работы предполагает упрощение процедуры разработки рекомендаций по использованию строительных отходов с учетом особенностей выбранных технологий сноса зданий, а также с учетом возможностей преобразования слабых сторон в сильные. Так, среди направлений дальнейших исследований можно выделить необходимость законодательного закрепления возможности строительства зданий на основе аддитивных технологий с применением

строительных отходов, а также исследование их применения не только при новом строительстве, но и при ремонте и реконструкции зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черноиван В.Н., Леонович С.Н., Черноиван Н.В. Эффективные технологии производства работ по ликвидации не эксплуатируемых производственных объектов // Наука и техника. 2016. Т. 15. № 2. С. 95—106.
2. Мазурин Д.М., Дементьева М.Е. Техничко-экономические показатели производства работ по демонтажу многоэтажного здания в условиях сложившейся застройки // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 6. С. 741—750.
3. Понявина Н.А., Потехин И.А., Косовцева И.А., Столярова Т.А. Развитие путей утилизации строительных отходов после сноса зданий и сооружений // Строительство и недвижимость. 2020. № 3 (7). С. 12—19.
4. Мазурин Д.М., Дементьева М.Е. Деконструкция как основа перспективной ликвидации зданий в концепции непрерывного жизненного цикла // В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2021. Сборник докладов Второй Национальной научной конференции. Москва, 2022. С. 809—816.
5. Власова Т.А. Экологические аддитивные технологии в строительстве: обзор // Инженерный вестник Дона. 2019. № 6 (57). С. 1.
6. Липатова Е.С., Санникова Н.В., Санников Д.С. Рециклинг отходов при производстве строительных материалов // Мир Инноваций. 2022. № 1. С. 29—34.
7. Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Т.К. Анализ существующих технологических решений 3d-печати в строительстве // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 7 (118). С. 863—876.
8. Бальзанников М.И., Галицкова Ю.М., Семенова В.В. Утилизация отходов производства строительных блоков с целью снижения загрязнения окружающей среды // В сборнике: Природоохранные и гидротехнические сооружения: проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов. Материалы Международной научно-технической конференции. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2014. С. 61—64.
9. Аль-Бу-Али У.С.Д., Лесовик Р.В., Толстой А.Д., Ахмед А.А. Оценка отходов от сноса разрушенных зданий и сооружений в Ираке // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 1 (32). С. 24—31.
10. Кременская Е.А., Тимофеев Д.С., Лоншакова А.Р., Цибульская А.К., Дрожжина Д.И. Иерархический подход к структурированию строительных отходов с позиции циклической экономики // Финансовая экономика. 2022. № 4. С. 114—116.
11. Дементьева М.Е., Мазурин Д.М. Особенности технологических решений по сносу зданий при реновации городской застройки // В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования. Сборник докладов Первой Национальной конференции. 2020. С. 831—836.
12. Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калошина С.В. Применение 3d-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 1. С. 90—101.
13. Гришин Р.В., Воццо О.Г. Разработка технологии возведения купольных зданий из бетона с вариотропными свойствами с использованием строительных 3-d принтеров // В сборнике: IV Международный студенческий строительный форум - 2019. Сборник докладов (К 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова). В 2-х томах. Белгород, 2019. С. 210—217.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ИНОСТРАННЫХ КОМПАНИЙ

Б.А. Гамов¹, А.А. Морозенко², И.А. Енговатов³

¹Филиал АО «Атомстройэкспорт» в Народной Республике Бангладеш,

^{2,3}Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,

¹gamov.com@yandex.ru

²morozenkoaa@mgsu.ru

³eng46@mail.ru

Аннотация

Организационные модели проектов сооружения АЭС на международных рынках с привлечением отечественных и иностранных компаний, нанимающих в свой штат локальные трудовые ресурсы, являются эффективными при правильном распределении ролей и зон ответственности между участниками реализации контрактов. В рамках статьи рассматриваются особенности при различных концепциях организации работ субподрядными компаниями на примере сооружения АЭС «Руппур» в Народной Республике Бангладеш. Производится анализ преимуществ и недостатков данных концепций в зависимости от сложности и насыщенности объекта совмещенными работами.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство объектов использования атомной энергии является особо опасным, технически сложным и уникальным крупномасштабным инвестиционным проектом [1]. Вектор развития данного сектора экономики направлен на повышение количества конкурентных преимуществ на международном рынке [2]. Более 30-ти проектов новых АЭС Госкорпорация «Росатом» сегодня сооружает в России и еще в 12-ти странах [3]. Реализация зарубежных проектов строительства АЭС имеет ряд особенностей, одной из которых является привлечение иностранных компаний и использование локальных трудовых ресурсов, что во многих случаях продиктовано условиями контракта при достижении соглашений между главами государств [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При сооружении зарубежных проектов АЭС основными участниками являются генеральный подрядчик, реализующий ЕРС-контракт, и иностранный заказчик (владелец) [5]. На примере строительства АЭС «Руппур» в Народной Республике Бангладеш генеральным подрядчиком выступает АО «Атомстройэкспорт». Строительно-монтажные и специализированные работы выполняются субподрядными организациями (СПО), как российскими, так и иностранными.

В процессе анализа структуры сооружения проекта АЭС «Руппур» было выделено 4 концепции организации выполнения работ субподрядными компаниями:

1. Комплексная реализация объектов «под ключ» (СМР, ТМР, ЭМР) одной российской компанией с привлечением локальных трудовых ресурсов в штат (бенгальский персонал).
2. Выполнение строительно-монтажных и отдельных специализированных работ на уровне конкретного объекта разными российскими компаниями, каждая из которых привлекает в свой штат локальные трудовые ресурсы (бенгальский персонал).
3. Выполнение строительно-монтажных работ зарубежной компанией на особо сложном техническом объекте, требующем совмещения работ, не имеющей в своем

штате русскоговорящий персонал (или имеющей в ограниченном количестве). При этом специализированные работы (ТМР, ЭМР) на данном объекте выполняются российскими компаниями.

4. Возведение объектов иностранными подрядчиками без пересечения с российскими компаниями (небольшие объекты, не требующие совмещенных работ).

Каждая концепция имеет ряд организационных особенностей, преимуществ и недостатков в зависимости от сложности и насыщенности объекта совмещенными работами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из примеров реализации объекта одной российской строительной организацией «под ключ» является опыт строительства комплекса водозаборных сооружений АЭС «Руппур» компанией АО «Институт Оргэнергострой».

При выполнении строительно-монтажных работ, монтажа оборудования (гидротехнического, электротехнического), тепломонтажных работ одной организацией полный цикл управления проектом сооружения берет на себя один централизованный аппарат, который непосредственно выполняет и реализует задачи, полученные от генподрядной организации. Местный персонал привлекается в штат организации и работает под руководством русскоговорящих сотрудников.

Преимущества:

- Единая линия ответственности за результат;
- Централизованное управление, планирование, единый центр принятия решений;
- Гибкая система взаимодействия персонала, ответственного за смежные работы;
- Гибкость коммуникации в рамках одной организации;
- Единая линия ответственности при срыве сроков ТМР, ЭМР по причине необеспечения строительной готовности;
- Единство экономических интересов;

Недостатки:

- Необходимость наличия у СПО лицензий на выполнение полного перечня работ;
- Необходимость привлечения в штат широкого перечня специалистов с необходимыми компетенциями;
- Высокие требования к трудовому потенциалу СПО;
- Отсутствие возможности использования данного подхода при реализации объектов ядерного и турбинного острова по причине отсутствия в отрасли компаний, имеющих необходимый опыт выполнения полного перечня работ.

Примером выполнения СМР, ТМР и ЭМР разными российскими компаниями в контуре возведения одного объекта является организация строительства реакторных блоков. Строительно-монтажные работы выполняются ООО «Трест Росспецэнергомонтаж», тепломонтажные работы - АО «Энергоспецмонтаж», работы по устройству вентиляции - ООО «СМУ №1», электротехнические работы - ООО "КОРПОРАЦИЯ АК "ЭСКМ".

В сравнении с возведением объекта «под ключ» одной компанией, разделение специализированных работ между различными российскими субподрядными организациями имеет свои особенности и проблематику. Высокая насыщенность совмещенными работами и наличие строгой технологической последовательности в условиях разделения зон ответственности усложняет структуру и цепочку принятия глобальных решений, а также требует расстановки приоритетов. Наличие у каждой компании собственных, в первую очередь экономических интересов и обязательств, при малейших отступлениях от графика и возникновении риск-факторов, может приводить к перекалыванию ответственности между компаниями и нарушениям технологической

последовательности, что в свою очередь приводит к дальнейшему увеличению сроков реализации.

При этом локальные трудовые ресурсы также привлекаются в штат каждой российской организации. Перечень выполнения работ местным бенгальским персоналом ограничен их уровнем квалификации и компетенций, а работы выполняются под строгим контролем русскоговорящих сотрудников.

Преимущества:

- Каждой из узкоспециализированных компаний накоплен серьезный многолетний опыт выполнения работ, штат узко квалифицированных специалистов с необходимым перечнем компетенций, технологическая база решений и наработок в своей сфере деятельности;
- Отсутствие языкового барьера и как следствие проблем с коммуникацией между смежными компаниями, что все еще позволяет осуществлять оперативное управление на эффективном уровне без постоянного участия представителей генерального подрядчика. При этом гибкость коммуникации снижается по сравнению с выполнением полного перечня работ одной организацией «под ключ»;
- Вовлечение локальных трудовых ресурсов в производственные процессы не снижает гибкости производства, так как минимальный уровень необходимой коммуникации начинается с русскоговорящего линейного персонала.

Недостатки:

- Наличие у каждой организации собственных экономических интересов;
- Перекалывание ответственности при срыве сроков работ;
- Высокая трудоемкость процессов расстановки приоритетов, усложнение организационной структуры и удлинение цепочки принятия решений, замедление процессов планирования и управления из-за вовлечения большего количества участников в процесс.

В рамках реализации проекта АЭС «Руппур» впервые Индийская компания MAH Group вышла на международный рынок строительства АЭС [6]. Иностранная компания выполняет строительно-монтажные работы на здании турбины первого и второго энергоблоков. При этом специализированные работы по монтажу оборудования, трубопроводов, электротехнической части и вентиляции выполняются российскими компаниями, такими как АО «Энергоспецмонтаж», ООО «СМУ №1», ООО «КОРПОРАЦИЯ АК "ЭСКМ"», ООО «Волгодонское монтажное управление».

Центральный аппарат и менеджмент организации преимущественно представлен гражданами Индии. Инженерно-технический персонал сформирован из представителей Индии и Народной Республики Бангладеш. Линейный персонал - преимущественно локальные трудовые ресурсы (включая бенгальских «субсубподрядчиков»). В штат организации также вовлечено некоторое количество отечественных специалистов: 2 переводчика, 2 дефектоскописта лаборатории сварки металлов и 2 инженера производственно-технического отдела.

Данный опыт сооружения объектов турбинного острова на примере АЭС «Руппур» также имеет свою проблематику, выраженную преимущественно в затруднении коммуникаций между иностранной компанией и подрядчиками, выполняющими специализированные работы. Языковой барьер при организации работ на объектах, высоко насыщенных совмещенными работами, остро сказывается на гибкости технологических процессов.

Преимущества:

- Обмен опытом технологий и подходов к строительству;
- Укрепление дружественных связей при реализации крупных инвестиционно-строительных проектов на международном рынке;
- Отсутствие языкового барьера внутри компании (рабочий язык английский, бенгальский);
- Аккумуляция и подбор местного персонала в штат иностранной компании является более гибким за счет наличия иностранного кадрового резерва в странах Азии.

Недостатки:

- Отсутствие коммуникаций между иностранной компанией, выполняющей СМР, и российскими компаниями, выполняющими специализированные работы на уровне линейных сотрудников и выше;
- Необходимость вовлечения сотрудников, координирующих выполнение работ со стороны генерального подрядчика в качестве посредника при решении вопросов любого уровня, что в свою очередь существенно снижает гибкость технологических процессов;
- Увеличение штата сотрудников, курирующих выполнение работ иностранной компанией со стороны генерального подрядчика, как минимум в 2 раза по сравнению с необходимым количеством сотрудников, курирующих выполнение работ российскими СПО;
- Отсутствие опыта работы у иностранных компаний с российской нормативной документацией и техническими регламентами;
- Высокая трудоемкость процессов координации работ со стороны генерального подрядчика;
- Усложнение процессов планирования и управления при организации смежных работ.

Привлечение местных строительных компаний Народной Республики Бангладеш в качестве субподрядчиков при выполнении работ на небольших объектах, не требующих совместной работы с российскими СПО, является четвертой концепцией организации работ с привлечением локальных трудовых ресурсов.

Примером является возведение бенгальским подрядчиком Energyrac емкости аварийного слива масла и воды трансформаторов первого и второго энергоблоков. В штате компании отсутствуют отечественные специалисты. Рабочим языком является английский и бенгальский.

Преимущества:

- Транслирование опыта сооружения объектов использования атомной энергии на международном рынке.

Недостатки:

- Отсутствие у СПО опыта реализации крупных инвестиционно-строительных проектов;
- Низкая квалификация персонала;
- Отсутствие опыта работы у иностранных компаний с российской нормативной документацией и техническими регламентами;
- Высокая трудоемкость процессов коммуникации и координации работ со стороны генерального подрядчика.

ВЫВОДЫ

Российская атомная отрасль является лидером по количеству энергоблоков, сооружаемых за рубежом [7]. Порядок привлечения иностранных компаний в качестве субподрядчиков

и вовлечения локальных трудовых ресурсов в штат отечественных компаний, а также распределение ролей и зон ответственности между участниками строительства должен быть направлен на построение наиболее эффективной организационной структуры проекта.

Опыт сооружения АЭС «Руппур» в Народной Республике Бангладеш является уникальным с точки зрения совместной работы зарубежных и российских специалистов в разных комбинациях на объектах различного уровня сложности и ответственности в рамках одного проекта.

Утверждение структуры новых проектов на международных площадках строительства АЭС должно учитывать организационные особенности производства работ, а выявленная в процессе анализа проблематика должна ложиться в основу логики принятия решений при выборе субподрядных организаций, перечня условий и требований к участникам строительства на этапе заключения контрактов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Градостроительный кодекс РФ от 29 декабря 2004 г. N 190-ФЗ. Глава 6. Архитектурно-строительное проектирование, строительство, реконструкция объектов капитального строительства (ст. 47 - 55) Статья 48.1. Особо опасные, технически сложные и уникальные объекты.
2. *Д.С. Пантелей*. Перспективы обеспечения конкурентоспособности Госкорпорации «Росатом» с учетом трансформаций в мировой экономике // Вестник Евразийской науки, 2019 №2.
3. *А.В. Путилов, М.Н. Стриханов*. Подготовка кадров для развивающейся атомной энергетики // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2019. № 2. С. 208-218. DOI: 10.26583/пре.2019.2.18.
4. *А. Эйдельштейн, А. Барей*. Страна Росатом. События и люди «Руппура». Интервью главного инженера ООО «Трест Росспецэнергомонтаж». 10 февраля 2020.
5. *Т.В. Иванов*// Презентация «Организационно-финансовые модели реализации проекта сооружения АЭС на зарубежных рынках» // АТОМЭКСПО-2010. Москва, 09 июня 2010 г.
6. Новости «Первая индийская компания вышла на международный атомный рынок» // Атомная энергия 2.0. Вып. 19 июня 2018 г. (<https://www.atomic-energy.ru/news/2018/06/19/86774>).
7. *А.С.Марченко* Особенности международного рынка строительства АЭС // Российский внешнеэкономический вестник, 2020, №11

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПАСПОРТ ЗДАНИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К НЕМУ

А.Н. Малахова

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,
MalahovaAN@mgsu.ru

Аннотация

Из анализа содержания технического и эксплуатационного паспортов объекта и требований по периодическому и своевременному внесению в них информации о текущем техническом состоянии зданий следует, что вместо предусмотренного федеральными строительными нормами внесения в эти паспорта данных в письменном виде или с использованием компьютера необходимо переходить к электронным паспортам. То есть создавать и применять специальные пакеты программ, в том числе графических модулей, для хранения и обработки информации, описывающей объект строительства, его техническое состояние, сведения о текущих и капитальных ремонтах. Рассмотрены вопросы, связанные с формированием содержания электронного паспорта, с построением его структуры. Сформулированы основные требования к формированию программного комплекса для заполнения электронного эксплуатационного (технического) паспорта, а также для последующего оперативного использования накопленной информации в ходе эксплуатации объекта. Рассмотрены возможности и особенности использования учебного процесса, в частности – студенческих практик в строительных ВУЗах, для создания автоматизированной системы хранения и обработки данных эксплуатационных паспортов зданий строительных высших учебных заведений.

ВВЕДЕНИЕ

Рациональное управление зданий сегодня связывается с качественной организацией и оптимальным распределением имеющихся материально-технических, финансовых и трудовых ресурсов для поддержания зданий в исправном состоянии.

Документом, отображающим результаты оценки технического состояния объекта недвижимости, содержащим его основные характеристики (информацию о назначении объекта, адресе расположения, времени введения в эксплуатацию, количестве и площади помещений, их высоте, поэтажные планы, информацию о конструктивных решениях и строительных материалах, дате проведения технического обследования и ремонтных работ экспликацию помещений и др.), является *технический паспорт объекта*.

Долгое время, до 2013 года, только технический паспорт здания содержал описание строительного объекта на земельном участке. Его наличие позволяло вносить данные об объекте в государственный кадастр недвижимости и единый государственный реестр прав. В настоящее время он служит документом, используемым для внутренних нужд собственника объекта недвижимости или для предоставления информации об объекте по запросу служб, организаций и ведомств. Технические паспорта БТИ являются составной частью кадастрового паспорта и используются для согласования различных изменений объемно-планировочного решения и технического состояния объектов строительства.

Для любых зданий и сооружений, за исключением особо опасных, технически сложных объектов, нормативным документом федерального значения [1] введен *эксплуатационный паспорт здания*. В нем должны содержаться основные сведения об объекте, информация о проведении ремонтов, реконструкции и других изменениях. Ведение эксплуатационного паспорта позволяет обеспечить надежное и безопасное функционирование здания.

Предложенные нормативными документами формы (бланки) технического и эксплуатационного паспортов зданий предусматривают внесение в них большого

количества информации в письменном виде, вручную. Вместе с тем, [1], регламентирующий содержание эксплуатационного паспорта здания и его ведение, рекомендует дублировать эксплуатационную документацию на персональном компьютере и сохранять на магнитных носителях. То есть либо оцифровывать заполненный вручную бланк эксплуатационного паспорта здания, с сохранением электронных копий, либо изначально вести заполнение эксплуатационного паспорта с использованием ПЭВМ. Следует отметить, что стандартизованные формы заполнения технического паспорта вручную активно применялись и ранее [2, 3].

Такой подход к ведению технического и эксплуатационного паспортов не рационален, поскольку затруднены ввод, обработка и представление информации по объекту строительства. Ведение эксплуатационного паспорта объекта, а также технического паспорта объекта в электронном виде может существенно облегчить и повысить эффективность их использования на всех стадиях жизненного цикла объекта.

Задачами настоящего исследования были: рассмотрение и анализ научно-технической литературы в области автоматизации процессов накопления, хранения и обработки информации о техническом состоянии зданий; рассмотрение основных требований к формированию программного комплекса для заполнения электронного эксплуатационного (технического) паспорта, последующего оперативного использования накопленной информации в ходе эксплуатации объекта; рассмотрение возможности и особенностей использования учебного процесса, в частности – студенческих практик в строительных ВУЗах, для создания базы данных для эксплуатационных паспортов зданий строительных высших учебных заведений.

Необходимость разработки пакетов программных модулей для хранения и обработки информации об объекте и его техническом состоянии, в том числе после проведения текущих и капитальных ремонтов и др, рассматривалась в [4, 5, 6, 7, 8]. Вопросы, связанные с формированием содержания электронного паспорта, с построением его структуры, с анализом информационных технологий управления недвижимостью, рассмотрены в [9, 10, 11, 12, 13]. Конкретные варианты компьютерных программ, предназначенных для формирования, актуализации и анализа массива данных о технических и эксплуатационных характеристиках зданий, сооружений предложены в [14, 15, 16].

Анализ современной научно-технической литературы показывает, что введение электронных паспортов объектов является насущной необходимостью. Так, в октябре 2022 года было утверждено Постановление Правительства Москвы, официально закрепляющее с 2023 года правовой статус электронного паспорта как единого источника актуальной информации о строящихся, реконструируемых и введенных в эксплуатацию объектах капитального строительства [17].

Предполагается, что результатом внедрения электронного эксплуатационного (технического паспорта) будет являться оптимизация управленческих и производственных (в том числе учебных) процессов за счёт удобного и оперативного доступа к информации.

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами исследования являлась научно-техническая литература в области автоматизации процессов накопления, хранения и обработки информации о техническом состоянии зданий. Основными методами исследования являлись изучение, обобщение, сравнение, анализ, конкретизация, постановка проблем, прогнозирование.

Паспорт объекта строительства (здания, сооружения) — это государственный документ с детальными собранными и упорядоченными данными об объекте недвижимости. В настоящее время существует несколько видов паспортов объектов недвижимости, характеризующих их юридическое и техническое состояние. Они регламентируются различными нормативными документами федерального значения.

Основными из них являются кадастровый паспорт, технический паспорт и эксплуатационный паспорт объекта.

Кадастровый паспорт — это учетный документ, подтверждающий, что объект находится на кадастровом учете и включен в Росреестр. Он служит для осуществления сделок по отчуждению и получению имущества и состоит из двух стандартизированных листов, в которых отражены кадастровый/инвентарный номер, назначение недвижимого имущества, краткое его техническое описание, дата проведенной инвентаризации, а также масштабированный план объекта.

Технический паспорт здания – документ, выдаваемый Бюро технической инвентаризации. Он является частью технической документации на объект недвижимости и составляется строительной организацией по итогам первоначальной инвентаризации здания на момент его ввода в эксплуатацию. Технический паспорт хранится в БТИ, причем на каждое здание оформляется индивидуальное инвентарное дело. Состав информации следующий: назначение здания, состав и площади помещений, этажность, описание строительных конструкций, используемые материалы, инвентаризационная стоимость, техническое состояние конструкций и здания в целом и т.д.

Последующие изменения технического состояния объекта заносятся в технический паспорт в виде дополнений с указанием даты обследования не позднее одного месяца после его проведения. Периодичность обследований определяется [18] или необходимостью внепланового обследования в связи с чрезвычайной ситуацией, которая привела к изменению технического состояния объекта. Форма и состав технического паспорта на объекты индивидуального жилищного строительства утверждена [19].

Эксплуатационный паспорт здания – это документ, содержащий основную об объекте строительства, о проведении ремонтов, реконструкции и других изменениях в течение эксплуатации. Содержание эксплуатационного паспорта здания регламентируются п. 3.19 СП [1], который устанавливает эксплуатационные требования к объектам массового строительства и не распространяется на особо опасные, технически сложные объекты. СП также регламентирует обязанности службы эксплуатации зданий; организационные основы эксплуатационного контроля; состав, ведение и хранение технической эксплуатационной документации и др.

Содержание эксплуатационного паспорта определяется задачами службы эксплуатации зданий (управляющей организации) по соблюдению технического регламента, устанавливающего общие требования к безопасности зданий и сооружений [20]. Примерная форма эксплуатационного паспорта здания приведена в Приложении В [21].

Как указано выше, заполнение формы эксплуатационного паспорта, содержащей большое количество технической информации, как и заполнение бланка рассмотренного выше технического паспорта, предусматривается в письменном виде, вручную. Однако строительные нормы [1] рекомендуют оцифровывать эксплуатационную документацию либо дублировать ее на персональном компьютере и сохранять на магнитных носителях.

Следует полагать, что если изначально предусмотреть ведение эксплуатационного (технического) паспорта зданий в электронном виде, то это должно существенно облегчить и повысить эффективность использования таких паспортов в ходе эксплуатации объектов.

Электронный паспорт объекта позволяет в автоматическом режиме хранить, обрабатывать и систематизировать техническую информацию, в том числе графическую, и должен отвечать следующим требованиям:

- содержать интерактивную модель здания, что позволяет полно отображать объект и его свойства;
- хранить данные по проектной, эксплуатационной и технической документации;
- включать в себя функции создания отчетов о текущем техническом состоянии здания;
- являться инструментом взаимодействия с экспертными организациями, автоматизированным рабочим местом инженера по эксплуатации зданий [22].

Функциональное назначение электронного паспорта заключается в оперативности и наглядности представления эксплуатирующему и административному персоналу информации по объектам, в том числе информации по структуре расходов на содержание объектов, что позволяет повысить эффективность их эксплуатации.

Наглядность представления информации является достоинством электронного паспорта, которая усиливается интеграцией с 3D-моделями объектов. Включение в электронный паспорт проектной, исполнительной, эксплуатационной документации позволяет службе эксплуатации анализировать информацию и отслеживать отклонения от проекта.

Электронный паспорт должен быть оснащён удобным и понятным интерфейсом, что существенно облегчит поиск и обработку данных, выполнение таких функций, как навигация, масштабирование, выделение объектов, получение спецификации на выделенный объект, поиск элементов по какому-либо признаку и др. Такой электронный паспорт будет являться необходимым элементом системы поддержки жизненного цикла объекта и позволит осуществлять многомерный контроль объекта на всех этапах его эксплуатации, всегда иметь актуальную информацию о состоянии элементов системы и объекта в целом [23].

Весьма актуальным наличие электронного паспорта является и для зданий высших учебных заведений, которые весьма разнообразны по назначению, объемно-планировочному, конструктивному решению и отражают специфику возведения зданий в различные построечные периоды. Это создает определенные трудности для их описания в электронном паспорте.

Рациональное управление комплексом зданий сегодня связывается с качественной организацией и оптимальным распределением имеющихся материально-технических, финансовых и трудовых ресурсов для поддержания зданий в исправном состоянии. Экономия ресурсов можно достичь, например, при условии перехода от современной практики ремонта только при обнаружении серьезных дефектов к культуре проведения своевременного ремонта небольших дефектов. Поэтому целесообразно структурирование электронного паспорта по разделам. Такими разделами могут быть раздел *Отделка наружных и внутренних поверхностей строительных конструкций*, на ремонт которых приходится основные эксплуатационные затраты, и раздел *Конструкции*, исправное состояние которых обеспечивает прочность и устойчивость здания [24]. В разделе *Результаты обследования* могут быть приведены даты проведения обследований, их периодичность, выявленные изменения объемно-планировочного и конструктивного решения, по отношению к проектной документации, степень физического и морального износа как всего здания, так и его отдельных конструкций [25].

К проведению работ по техническому обследованию зданий строительных ВУЗов могут быть привлечены студенты во время проведения практики. Студенты могут участвовать в разработке структуры электронного паспорта зданий высших учебных заведений с последующей обработкой и представлением результатов обследования в удобной для эксплуатационных служб форме; могут участвовать в составлении электронных паспортов зданий с использованием графических редакторов и программ баз

данных [24]. Тем более, что студенты строительных вузов в ходе учебного процесса приобретают компетенции в области проведения технического обследования зданий, подбора и анализа научно-технической документации профессиональной направленности, выполнения расчетов и конструирования строительных конструкций в том числе – с применением программных комплексов.

Студенческая практика, ориентированная на компьютерную паспортизацию зданий, закрепляющая полученные теоретические знания, является весьма актуальной для эксплуатации зданий ВУЗов и будет полезна студентам в их профессиональной деятельности. Основные задачи студенческой практики будут состоять в изучении имеющейся документации на конкретные объекты вуза, научно-технической литературы по проектированию зданий высших учебных заведений, в проведении обследования технического состояния конструктивных элементов зданий, в том числе проведения обмерочных работ; визуального и инструментального обследования; выполнении поверочных расчетов и др. [26].

Результатом внедрения электронного паспорта будет оптимизация управленческих и производственных (в том числе учебных) процессов за счёт удобного и оперативного доступа к информации.

ВЫВОДЫ

1. Результаты рассмотрения и анализа научно-технической литературы показывают актуальность и востребованность разработки пакетов программных модулей для хранения и обработки информации об объекте и его техническом состоянии, в том числе после проведения текущих и капитальных ремонтов и др. Большой объем данных, которые необходимо периодически и своевременно вносить в базу данных о техническом состоянии объекта, а затем оперативно пользоваться ими для принятия управленческих решений, говорит о необходимости создания специальных программных комплексов для ведения эксплуатационного (технического) паспорта здания в электронном виде. Важность электронного паспорта подтверждается *Постановлением Правительства Москвы*, устанавливающим обязательность его ведения при эксплуатации городских зданий и сооружений.
2. На основании рассмотрения и анализа содержания эксплуатационного (технического) паспорта здания сформулированы основные требования к формированию программного комплекса для заполнения электронного паспорта, а также для последующего оперативного использования накопленной информации в ходе эксплуатации объекта.
3. Исходя из того, что студенты строительных ВУЗов в процессе обучения приобретают компетенции в области проведения технического обследования зданий, подбора и анализа научно-технической документации профессиональной направленности, выполнения расчетов и конструирования строительных конструкций в том числе – с применением программных комплексов, они могут участвовать в составлении электронных паспортов зданий с использованием графических пакетов и баз данных. Таким образом студенческую практику можно использовать для компьютерной паспортизации зданий ВУЗа.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 255.1325800.2016. Свод правил. Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения.
2. Руководство по эксплуатации строительных конструкций производственных зданий промышленных предприятий. – М: ЦНИИПромзданий. 1991. 56 с.
3. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений. Справочное пособие под редакцией *М.Д. Бойко* – М: Стройиздат. 1993. 207 с.
4. Бурлуцкий С.Г., Езерский В.В., Хахаев И.А. Электронный паспорт как основа информационного обеспечения автоматизированных систем поддержки принятия решений. Информационно-управляющие системы. 2015. № 1 (74). С. 100-104.

5. Кулешова К.Г., Лобачева А.В. Система управления имуществом комплексом: принципы и инструменты Университетское управление: практика и анализ. 2016. № 4 (104). С. 129-133.
6. Звонов И.А., Денисова Д.Л., Нарезная Т.К. Перспективы применения информационных технологий в сфере эксплуатации объектов недвижимости Недвижимость: экономика, управление. 2017. № 3. С. 70-74.
7. Ахметгалиев Т.А. Формирование единой инновационной базы данных объектов недвижимости, как элемента цифровой системы государственных федеральных ресурсов. В сборнике: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Международной научно-практической конференции. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 5-7.
8. Тарасевич Е.И. К вопросу методологии автоматизации управления недвижимым имуществом организации Недвижимость: экономика, управление. 2019. № 1. С. 25-31.
9. Гребенюк Г.Г., Лубков Н.В., Никишов С.М. Информационные аспекты управления муниципальным хозяйством. Монография / Москва, 2010. 224 с.
10. Кулешова К.Г., Лобачева А.В. Система управления имуществом комплексом: принципы и инструменты Университетское управление: практика и анализ. 2016. № 4 (104). С. 129-133.
11. Тажудинова Э.Т. Информационные технологии и методы управления недвижимостью В сборнике: Компьютерные технологии и моделирование в науке, технике, экономике, образовании и управлении: тенденции и развитие. Материалы международной научно-технической конференции. 2019. С. 206-208.
12. Евдокимов Е.А., Озеров Е.С. Анализ применения современных автоматизированных систем для управления недвижимостью В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли. Сборник трудов научной и учебно-практической конференции. В 3-х частях. 2017. С. 40-45.
13. Зайцева И.А., Быстрова Е.В. Управление технической эксплуатацией объектов недвижимости В сборнике: Материалы докладов 49 международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. В 2 томах. 2016. С. 188-190.
14. Серегин В. В., Комиссарова К. К., Зайцева А. А. Инфраструктурный паспорт Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022682057, 18.11.2022. Заявка № 2022681020 от 09.11.2022.
15. Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сборник научных трудов. Вып.7, Магнитогорск, ООО МИНИ-ТИП», 2007, 256 с.
16. Электронный технический паспорт объекта – в визуальном доступе. Российский деловой электронный журнал «Точка опоры». Раздел – промышленная автоматизация. № 156, октябрь 2012.
17. Постановление Правительства Москвы от 04 октября 2022 года № 2125-ПП «Об утверждении Порядка формирования и актуализации цифровых паспортов объектов капитального строительства, ведения реестра цифровых паспортов объектов капитального строительства, Порядка присвоения и применения уникального идентификационного номера объекта капитального строительства и внесении изменений в правовые акты города Москвы».
18. СП 13-102-2003. Свод правил. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
19. Приказ Министерства экономического развития и торговли Российской Федерации «Об утверждении формы технического паспорта объекта индивидуального жилищного строительства и порядка его оформления организацией (органом) по учету объектов недвижимого имущества» от 17 августа 2006 года № 244.
20. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
21. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 18.12.2017 N 1682/пр. «Об утверждении свода Правил «Здания и помещения медицинских организаций. Правила эксплуатации».
22. Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сборник научных трудов. Вып.7, Магнитогорск, ООО МИНИ-ТИП», 2007, 256 с.
23. Электронный технический паспорт объекта – в визуальном доступе. Российский деловой электронный журнал «Точка опоры». Раздел – промышленная автоматизация. № 156, октябрь 2012.
24. Малахова А.Н. Компьютерный паспорт зданий высших учебных заведений // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2002. №10. С. 26—27.
25. Малахова А.Н. Особенности морального и физического износа зданий студенческих общежитий // Сборник прикладных научно-технических работ Мытищинского филиала МГСУ. Юбилейный выпуск. – М: МГСУ. 2004. С.133-139.
26. Кузнецов В.С., Малахова А.Н., Пастухова Я.З. Студенческая практика для компьютерной паспортизации зданий вузов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. №1. С. 62—63.

ПРОВЕРКА ВЕЛИЧИН НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ И СВЯЗЯХ СТЫКОВ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ

Е.А. Король¹, Ю.О. Кустикова², Е.В. Панкова³

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹KorolEA@mgsu.ru

²KustikovaYO@mgsu.ru

³elena.pankova.97@mail.ru

Аннотация

Наружные стены зданий, выполненные из однослойных и трехслойных панелей, испытывают, кроме силовых, температурно-усадочные воздействия. Температурные усилия и деформации проявляются как в плоскости наружных стен, так и из плоскости. Расчеты распространяются на проверку прочности и деформативности проектных решений наружных стен из однослойных и слоистых панелей бескаркасных зданий с регулярной конструктивной схемой.

ВВЕДЕНИЕ

Температурно-влажностные усилия и деформации возникают в панелях наружных стен, включенных в статически-неопределимую пространственную систему крупнопанельного здания, при изменении температуры и влажности окружающей среды и при усадке бетона вследствие стеснения свободного деформирования наружных и внутренних конструкций связями между ними, а также вследствие заделки надземных конструкций здания в основание [1-4].

В работе рассматриваются расчетные горизонтальные продольные усилия, действующие в плоскости наружной стены, и расчетные горизонтальные поперечные усилия, действующие из плоскости стены. На действие этих усилий проверяются расчетные напряжения в горизонтальной арматуре панелей и в связях стыков, расчетные деформации вертикальных стыков.

Методы проверки по прочности и деформативности приводятся применительно к проектным решениям наружных стен из однослойных и слоистых панелей крупнопанельных бескаркасных зданий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В расчетах рассматриваются несущие, самонесущие и ненесущие стены из панелей однорядной и двухрядной разрезки длиной на один и два планировочных шага, конструктивно связанных с перекрытиями и внутренними стенами. Расчеты допускают применять и при проверке стен из панелей в три планировочных шага.

Расчетные продольные температурные усилия и деформации определяются в зависимости от расчетных значений температурного параметра Δt , расчетные поперечные усилия и деформации - в зависимости от расчетных значений температурного параметра $\Delta \theta$ [5,6,7].

Проверка наружных стен из однослойных и слоистых панелей на воздействие расчетных значений температурных параметров Δt и $\Delta \theta$, как правило, производится раздельно.

При совместном воздействии температурных параметров Δt и $\Delta \theta$ усилия и деформации, возникающие в конструкциях, суммируются на основе принципа независимости действия сил.

Проверка проектных решений конструкций на температурные воздействия производится для двух периодов: строительного - когда здание рассматривается как

неотапливаемое и усадка бетона не учитывается, эксплуатационного - когда учитывается совместное действие температуры и усадки бетона [8].

Расчетные усилия и деформации в наружных стенах при воздействии расчетных температурных параметров Δt и $\Delta \theta$ определяются с учетом расчетных значений параметров податливости сборных элементов конструкций и их соединений.

Проверка сечений стен по прочности, деформативности, а также определение расчетных значений жесткостей сечений панелей и стыков наружных, стен в продольном и поперечном направлениях производятся в соответствии с указаниями СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчетные величины напряжения в растянутой арматуре стеновых панелей и в связях стыков определяются как сумма напряжений, возникающих при одновременном действии продольной силы $N_{п}$ и изгибающего момента $M_{п}$, $M_{с}$.

Расчетная величина напряжений в арматуре панелей и в связях стыков не должна превосходить расчетных сопротивлений арматуры в соответствии с требованиями СП 63.13330.2018. Так, например, расчетная величина напряжений в продольных связях стыков между панелями не должна превосходить: в сварных стержневых связях из арматуры стали класса А-I-2100 кг/см², в петлевых связях из арматурной стали класса А-I диаметром 12 мм - 1600 кг/см².

Расчетные напряжения в растянутой арматуре однослойных и слоистых панелей с жесткой связью между слоями при воздействии температурных параметров Δt и $\Delta \theta$ определяются по формуле:

$$\sigma_{ап} = \frac{N_{п}}{F_{а}} \pm M_{п} \frac{E_{а}(h_{о}-z_{с})}{B_{п}\psi_{а}} \quad (1)$$

напряжения в продольных связях вертикальных стыков определяются по формуле:

$$\sigma_{а,с} = \frac{N_{п}}{F_{а,с}} \pm M_{с} \frac{E_{а}(h_{о}-z_{с})}{B_{п}\psi_{а}} \quad (2)$$

В формулах 1 и 2 значения напряжений максимальны, когда знаки первого и второго члена одинаковы. В этих формулах

$N_{п}$ - расчетное продольное температурное усилие в панелях, наружных стен, определяемое при воздействии расчетного значения температурного параметра Δt ;

$M_{п}$, $M_{с}$ - расчетные изгибающие моменты в панелях и стыках, определяемые в зависимости от схемы закрепления панелей к стенам и перекрытиям по формулам представленных в таблице 1 (рис.1);

$B_{п}$ - расчетная жесткость при изгибе перемычного пояса;

$F_{а}, F_{а,с}$ - соответственно расчетные площади сечения арматуры панелей и связей стыковых соединений.

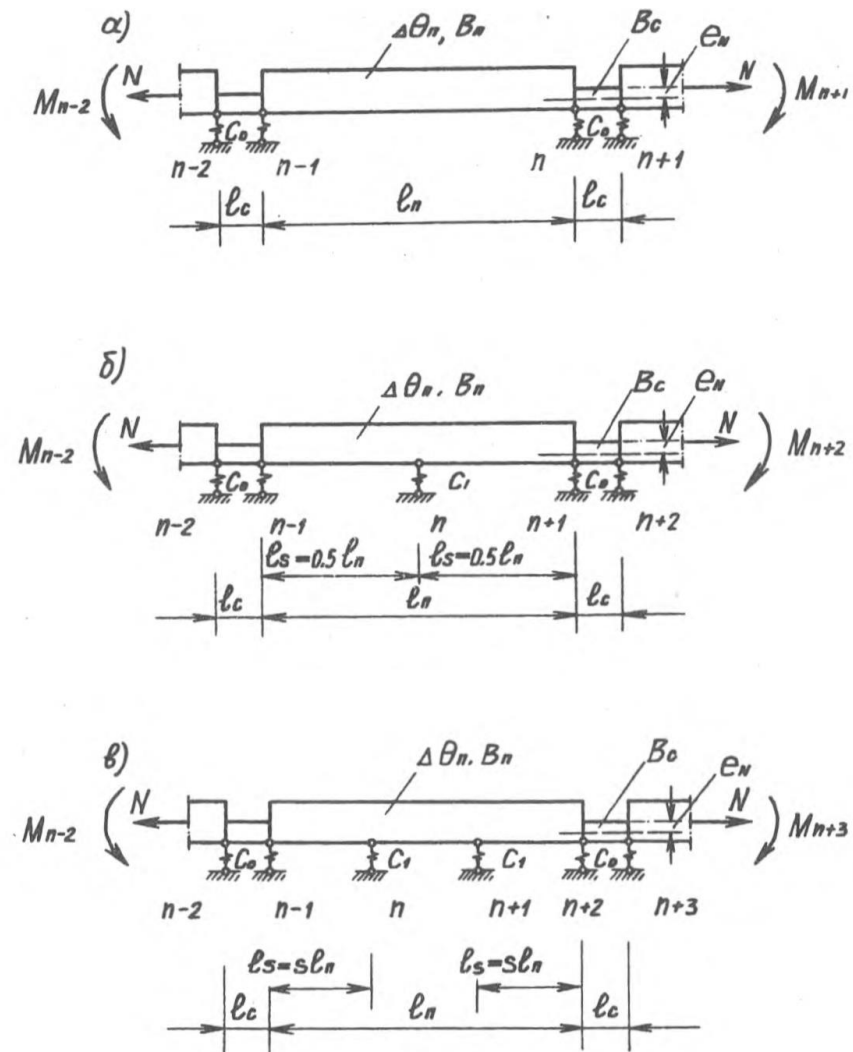


Рис. 1. Расчетные схемы закрепления наружных стеновых панелей к внутренним стенам и перекрытиям: а - средняя панель без промежуточных опор в пролете; б - то же, с одной промежуточной опорой; в - то же, с двумя промежуточными опорами

Суммарные изгибающие моменты M_i , опорные реакции R_i и углы поворота φ_i в стенах с замоноличенными стыками на упругих опорах при совместном действии температурного параметра $\Delta\theta$ и продольной силы с эксцентриситетом e_M

Таблица 1

Изгибающие моменты $M_i = M_i^\theta + M_i^N$	
Первый случай	Второй случай
$M_{n-1,c} = -(M_\theta + M_N) \cdot \frac{(m_1 + m_5)\xi\eta + m_5 + 1}{(m_1 + m_5)\zeta\eta + m_5 + 1}$ $M_{n-1,n} = -(M_\theta + M_N) \cdot \frac{(m_1 + m_5)\xi\eta + m_5 + 1}{(m_1 + m_5)\zeta\eta + m_5 + 1} + M_N$ $M_{n,n} = -(M_\theta + M_N) \cdot \left[\frac{(m_1 + m_5)(\zeta - \xi)\eta}{(m_1 + m_5)\zeta\eta + m_5 + 1} + 1 \right] + M_N$	$M_{n-1,n} = 0$ $M_{n-1,n} = M_N$ $M_{n,n} = -(M_\theta + M_N) \cdot \left(\frac{m_2 - m_5}{m_1 + m_5} + 1 \right) + M_N$
Опорные реакции $R_i = R_i^\theta + R_i^N$	
Первый случай	Второй случай
$R_{n-1} = -R_n = -(M_\theta + M_N) \cdot \frac{m_3(\zeta - \xi)\eta}{l_n[(m_1 + m_5)\zeta\eta + m_5 + 1]}$	$R_{n-1} = -R_n = -(M_\theta + M_N) \cdot \frac{m_3}{l_n(m_1 + m_5)}$
Углы поворота на опорах $\varphi_i = \varphi_i^\theta + \varphi_i^N$	
Первый случай	Второй случай
$\varphi_{n-1} = (M_\theta + M_N) \frac{l_n}{2B_n} \cdot \frac{(m_5+1)(\zeta-\xi)\eta}{(m_1+m_5)\zeta\eta+m_5+1}$ $\varphi_n = -(M_\theta + M_N) \frac{l_n}{2B_n} \cdot \frac{(1-2S)(m_2-m_5)(\zeta-\xi)\eta}{(m_1+m_5)\zeta\eta+m_5+1}$	$\varphi_{n-1} = (M_\theta + M_N) \frac{l_n}{2B_n} \cdot \frac{m_5+1}{m_1+m_5}$ $\varphi_n = -(M_\theta + M_N) \frac{l_n}{2B_n} \cdot \frac{(1-2S)(m_2-m_5)}{m_1+m_5}$

$$M_\theta = \frac{\alpha_n \Delta\theta_n B_n}{h_n}; M_N = -N_n e_N; \xi = \frac{\alpha_c}{\alpha_n}; \zeta = \frac{B_n}{B_c}; \eta = \frac{l_c}{l_n}; S = \frac{l_s}{l_n}; m_1 = \frac{3-4S}{S(2-3S)};$$

$$m_2 = \frac{1}{2-3S}; m_3 = \frac{3(1-S)}{S^2(2-3S)}; m_5 = \frac{6\varepsilon}{S^3(2-3S)}; \varepsilon = \frac{(\lambda_0 + \lambda_1) B_n}{l_n^3}$$

Все формулы даны для упругих опор.

При жестких опорах $\lambda_0 = \lambda_1 = 0$, $\varepsilon = 0$ и $m_5 = 0$.

Расчетные величины напряжений в растянутой арматуре i -го армированного бетонного слоя трехслойной панели с гибкими связями определяются по формуле:

$$\sigma_{ai} = \frac{N_i}{F_{ai}} \pm M_i \frac{E_a(h_{oi} - z_{ci})}{\psi_a B_i} \quad (3)$$

где i - I - для внутреннего слоя, 3 - для наружного;

N_i, M_i — расчетное продольное усилие и расчетный изгибающий момент в i -м слое;

B_i - расчетная изгибная жесткость i -го слоя;

F_{ai} - расчетная площадь сечения арматуры;

h_{oi} - проектное расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до сжатой грани бетона расчетного железобетонного сечения для i -го слоя слоистой панели;

z_{ci} - расчетная высота сжатой зоны бетона расчетного железобетонного сечения панели или стыка при действии расчетного изгибающего момента, для i -го слоя слоистой панели.

ВЫВОДЫ

При эксплуатации наружные стены крупнопанельных зданий испытывают кроме силовых нагрузок, так же температурно-влажностные воздействия. Корректность при определении нагрузок и воздействий оказывает влияние на безопасную работу не только отдельных конструктивных элементов, к числу которых относятся и наружные стены, но и в целом на конструктивную систему зданий, в работе которой они участвуют.

ЛИТЕРАТУРА

1. Король Е.А., Берлинова М.Н. Особенности расчета стеновых панелей с монолитной связью слоев на стадиях монтажа, транспортирования и эксплуатации. Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 3 (126). С. 367-375.
2. Korol E., Dinh Tho V., Huy Hoang N. Analysis the effects of lightweight concrete in the middle layer of multi-layered reinforced concrete structures on the stress-strain state using the finite element method. В сборнике: MATEC Web of Conferences 2018. С. 02022.
3. Ямлеев У.А., Насыров Р.Р. Расчёт длины температурного отсека крупнопанельного жилого дома с трёхслойными стеновыми панелями с дискретными связями на температурно-влажностное воздействие. Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2006. № 3 (35). С. 68-71.
4. Перехоженцев А. Г. Теоретические основы и методы расчёта температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий / Волгоград. ВолгГАСУ. 2008. С. 72-78.
5. Hygrothermal performance of exterior walls covered with aerogel-based insulating rendering / M. Ibrahim, E. Wurtz, P. H. Biwole, P. Achard, H. Sallee // Energy and Buildings. 2014. № 84. Pp. 241–251.
6. Перехоженцев А.Г., Груздо И.Ю. Температурно-влажностное состояние поверхностных слоев наружных ограждающих конструкций зданий. БСТ: Бюллетень строительной техники. 2016. № 6 (982). С. 70-71.
7. Перехоженцев А.Г., Груздо И.Ю. Влияние климатических воздействий на температурно-влажностное состояние поверхностных слоев многослойных наружных ограждающих конструкций зданий. Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 4-2 (46). С. 143-149.
8. Перехоженцев А.Г. Проектирование наружных стен высотных зданий с заданным температурно-влажностным режимом. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 48 (67). С. 48-60.

УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ РИСКАМИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ МАССОВОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

М.Ф. Семененко

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,
mikhailsemenenko@mail.ru

Аннотация

Реализация жизненного цикла проекта осуществляется в условиях постоянной неопределенности. Управление рисками проектов необходимо в профессиональной деятельности руководителей предприятий.

В статье рассмотрены основные методологические вопросы управления проектами: даны основные определения проекта и риска проекта, описаны подходы к оценке рисков проекта, методы оценки рисков. Описанная методика позволяет оперировать не только количественными данными, но и качественной информацией.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время реализация проектов массовой жилой застройки неотъемлемо сопряжена с организационно-техническими рисками на всем протяжении жизненного цикла проекта. Идентификация, исследование и управление факторами рисков позволяет выявлять, контролировать и управлять ситуацией, с принятием мер для снижения негативных последствий.

Риск – это вероятное при реализации проекта событие, наступление которого может как отрицательно, так и положительно отразиться на параметрах и результатах проекта. Риск обладает источником происхождения и влиянием на проект, т.е. последствиями, характеризуется вероятностью возникновения и потенциальным ущербом.

Основные термины и определения, связанные с рисками:

Идентификация рисков – определение рисков, документирование их характеристик; Оценка рисков – качественный и количественный анализ причин и вероятности возникновения, а также влияния последствий на проект;

Планирование реагирования на риски – разработка мер, минимизирующих вероятности ослабляющих отрицательные последствия рисков событий, при общем повышении вероятности успешного завершения проекта;

Мониторинг и контроль рисков – отслеживание наступления рисков событий и определение новых рисков

Комплекс мер по качественной и своевременной идентификации, планированию и мониторингу факторов рисков, а также управление ими позволит системный подход к реализации данной задаче на основе математических методов и информационных технологий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для идентификации и анализа рисков целесообразно применить качественные, количественные и смешанные методы оценки рисков.

К качественным оценкам рисков можно отнести: метод «мозгового штурма», структурированные или частично структурированные интервью, метод «Дельфи», контрольные листы, Анализ воздействия на бизнес.

Метод «мозгового штурма» позволяет коллективно генерировать идеи, применяется для решения задач с нетривиальным подходом. Является частью метода экспертных оценок и требует участия специалистов в определенной отрасли.

Структурированные или частично структурированные интервью представляют собой опрос владельцев рисков с целью выявления и оценки рисков, входящих в сферу их компетенции.

Метод «Делфи» переназначен для получения согласованного мнения группы экспертов. Позволяет определить и идентифицировать риски, определяет статистические характеристики ответов, полученных от экспертной группы. Подразумевает первичное анкетирование экспертов с опросом экспертов и получение ответов без аргументации. Данные первичного опроса обрабатываются и определяются статистические характеристики ответов с информирование о результатах экспертов. При повторном опросе эксперты обосновывают изменение или подтверждают ранее озвученное мнение. Эксперты информируются с данными повторного опроса. Следующие туры опросов проводятся по аналогичной схеме, позволяя каждый раз учитывать в своих ответах новые обстоятельства.

Контрольные листы представляют собой списки опасностей и рисков в управлении, составленные на основе опыта, предшествующих оценок рисков, либо по результатам сбоев, которые случались раньше.

Анализ воздействия на бизнес (BIA) позволяет исследовать, идентифицировать и количественно определить необходимые возможности для управления в условиях влияния отказов/нарушений/разрушений на деятельность и процессы организации.

К количественным методам оценки можно отнести: метод «Value at Risk» (VAR), анализ чувствительности, сценарный анализ, стресс-тестирование.

Метод «Value at Risk» представляет собой оценку величины, выраженную в денежных единицах, которую не превысят ожидаемые в течение данного промежутка времени потери с заданной вероятностью. Для вычисления требуются функции распределения портфельной прибыли в течение определенного промежутка времени.

Анализ чувствительности позволяет определить степень влияния варьируемых факторов на финансовый результат проекта. К варьируемым факторам относятся: уровень инфляции, налоговые ставки, объем инвестиций, задержки платежей, потери при продажах, прямые издержки, отсрочки оплаты прямых издержек, общие издержки, заработная плата персонала, ставки по депозитам и кредитам, ставка дисконтирования.

Сценарный анализ заключается в моделировании возможных ситуаций, с последующей количественной оценкой рисков на основе выводов. Подразумевает сравнение какой-либо ситуации с вероятной. Позволяет оценивать воздействие ряда факторов на процесс наступления вероятного экстремального события. Отклонения параметров рассчитываются с учетом корреляции между ними.

Стресс-тестирование заключается в определении величины несогласованной позиции, которая подвергает организацию риску и в определении шоковой величины изменения внешнего фактора. Внешним фактором может являться валютный курс, процентная ставки и т.д. Метод стресс-тестирования позволяет спрогнозировать сумму убытков или доходов организации, если события будут развиваться по заложенным сценариям.

К смешанным методам оценкам рисков относится матрица последствий и вероятностей.

Матрица последствий и вероятностей представляет собой расположение ранжированных показателей последствий и вероятностей в виде-таблицы (матрицы). В зависимости от места оцененного риска в матрице делается вывод о его допустимости или недопустимости.

Методика построения карты организационно-технических рисков при реализации проектов массовой жилой застройки.

Управление рисками проекта включает в себя процессы, относящиеся к планированию

управления рисками, их идентификации и анализу, реагированию на риски и мониторингу управления рисками проекта. Большинство из этих процессов подлежат постоянному обновлению в ходе проекта.

Цели управления рисками проекта - повышение вероятности возникновения и воздействия благоприятных событий и снижение вероятности возникновения и воздействия неблагоприятных для проекта событий.

Риск проекта — это неопределенное событие или условие, которое в случае возникновения имеет позитивное или негативное воздействие по меньшей мере на одну из целей проекта, например сроки, стоимость, содержание или качество (в зависимости от вида проекта).

Причиной возникновения риска является неопределенность, которая присутствует во всех проектах. Риски можно разделить на известные и неизвестные.

Известные риски — это те риски, которые идентифицированы и подвергнуты анализу.

По большинству из них планируются ответные действия.

Неизвестные риски — это те риски, которые трудно или невозможно идентифицировать и, соответственно, подвергнуть предварительному анализу. Для таких рисков целесообразно выделить резерв на непредвиденные обстоятельства, включив туда и известные риски, для которых разработка конкретных мер реагирования не представляется экономически эффективной или возможной.

Таблица 1. Факторы организационно-технических рисков при реализации проектов массовой жилой застройки.

№ группы факторов	Описание группы факторов	Условное обозначение факторов	Описание факторов	Описание фактора
1	Подготовительный период	Ф1.1.	Ограждение строительной площадки	Наличие полного закрытого периметра, соответствие установленного ограждения границам кадастрового участка, обеспечение безопасной зоны движения пешеходов.
		Ф1.2.	Устройство временных дорожных знаков	Соответствие монтажа дорожных знаков проекту организации дорожного движения на период строительства. Обеспечение оптимальной логистики на въездах и внутри строительной площадки. Интеграция знаков в проектах ППРК и ПОД.
		Ф1.3.	Обеспечение сохранности опорной геодезической сети (ОГС) вынесенной и закрепленной на участке застройки	Влияние сохранности опорной геодезической сети на точность разметки конструкций зданий и разбивки инженерных коммуникаций
		Ф1.4.	Качественно развитая внутренняя логистическая сеть	Влияние временной дорожной сети на эффективность складских операций и снижение запасов на складе
		Ф1.5.	Качественно развитая внешняя логистическая сеть	Влияние временной дорожной сети на снижение транспортных бюджетов, скорость перемещения грузов, эффективности складских

				операций и снижение запасов на складе
		Ф1.6.	Создание функциональной зоны бытового городка	Влияние правильно расположенного у укомплектованного бытового городка на
		Ф1.7.	Организация складских и погрузочно-разгрузочных зон	Влияние складских и погрузочных зон на скорость разгрузки и затарки продукции
		Ф1.8.	Подключение временных инженерных сетей	Влияние временных инженерных сетей на безопасность, скорость и продолжительность выполнения работ, обеспечение качества и комфорт
		Ф1.9.	Вынос существующих инженерных коммуникаций	Влияние выноса существующих инженерных коммуникаций на старт работ и темпы строительства
		Ф1.10.	Вырубка (пересадка зеленых насаждений)	Влияние вырубки зеленых насаждений на старт работ основного периода строительства
		Ф1.11.	Срезка плодородного слоя	Влияние срезки плодородного слоя на устройство временных дорог и разработку котлованов
		Ф1.12.	Отвод поверхностных и грунтовых вод	Влияние отведения поверхностных вод на осушение основания котлованов
2	Демонтаж существующих строений	Ф2.1.	Обрезка и защита деревьев	Влияние обрезки и защиты существующих зеленых насаждений на сохранность и соответствие Денроплану
		Ф2.2.	Демонтаж подземной части зданий и сооружений	Влияние демонтажа подземной части на старт работ основного периода
		Ф2.3.	Демонтаж надземной части зданий и сооружений	Влияние демонтажа подземной части на старт работ основного периода
		Ф2.4.	Демонтаж/Монтаж подпорных стенок	Влияние демонтажа /монтажа подпорных стенок на строительство временных дорог и старт работ основного периода
		Ф2.5.	Монтаж шпунта для сноса зданий и разработки котлованов	Влияние монтажа шпунтового ограждения на старт работ основного периода
		Ф2.6.	Вывод и утилизация зараженного грунта	Влияние утилизации зараженного грунта на старт работ основного периода и экологическую безопасность объекта
		Ф2.7.	Вывод и утилизация конструкций и материала сноса	Влияние утилизации конструкций и материалов сноса на освобождение территории строительства

		Ф2.8.	Монтаж временных дорожных покрытий	Влияние временной дорожной сети на скорость перемещения грузов и время разгрузки внутри территории застройки
		Ф2.9.	Демонтаж существующих дорожных покрытий	Влияние демонтажа существующих дорожных покрытий на старт работ по разработке котлованов, выполнение работ по благоустройству территории
		Ф2.10.	Выборка (разработка) грунта котлована	Влияние разработки котлована на темпы работ основного периода
		Ф2.11.	Монтаж временных защитных ограждений демонтируемых зданий, ограждений опасных зон	Влияние временных защитных ограждений на безопасность объекта
		Ф2.12.	Обеспечение мероприятий по охране окружающей среды и безопасности персонала при сносе зданий и сооружений	Влияние мероприятий по охране окружающей среды и безопасности рабочего персонала при сносе зданий и сооружений на безопасность
3	Земляные работы и устройство покрытий	Ф3.1.	Разработка грунта	Влияние разработки грунта на темп строительства "нулевого цикла"
		Ф3.2.	Устройство оснований	Влияние устройства оснований на темп строительства "нулевого цикла"
		Ф3.3.	Вывоз и утилизация грунта	Влияние вывоза и утилизации грунта на освобождение территории под застройку, скорость разработки котлованов
		Ф3.4.	Качество устройства конструкции дорожной одежды на подготовительный период строительства.	Влияние качества устройства конструкций дорожной одежды на скорость перемещения грузов, безопасность
		Ф3.5.	Организация покрытия и газонов	Влияние покрытий и газонов на темпы строительства, отсутствие строительной пыли
		Ф3.6.	Посадка зеленых насаждений	Влияние посадки зеленых насаждений на темпы работ по благоустройству территории
		Ф3.7.	Монтаж малых архитектурных форм	Влияние монтажа малых архитектурных форм на темпы работ по благоустройству территории
4	Монтаж подземной части зданий	Ф4.1.	Защита от вибрации грунтового	Влияние защиты от вибрации грунтового массива при устройстве свайного поля.

			массива при устройстве свайного поля	Обеспечение мероприятий по осадке рядом расположенных зданий
		Ф4.2.	Зимний электрообогрев монолитных фундаментных плит	Влияние зимнего прогрева монолитных фундаментных плит на качество и темпы работ
5	Организация логистической схемы снабжения объектов	Ф5.1.	Обеспечение логистической схемы организации поставок материалов	Влияние логистической схемы на снижение транспортных бюджетов, скорость перемещения грузов, эффективности складских операций и снижение запасов на складе
		Ф5.2.	Создание теплого склада для отделочных материалов и столярных изделий, инженерного оборудования	Влияние теплого склада на сохранность физических свойств материалов, качество СМР
		Ф5.3.	Организация логистической схемы снабжения объектов рабочими строительными специальностями	Влияние логистической схемы снабжения объектов рабочими строительными специальностями на качество выполняемых работ и темпы строительства
6	Способ и совмещение комплексной прокладки инженерных коммуникаций	Ф6.1.	Совмещение комплексной прокладки инженерных коммуникаций	Отсутствие наложений и минимизация мест пересечений инженерных коммуникаций. Скорость монтажа
		Ф6.2.	Способ прокладки инженерных коммуникаций	Влияние способов прокладки инженерных коммуникаций на безопасность и скорость прокладки
		Ф6.3.	Глубина заложения трубопровода	Влияние глубины заложения трубопроводов на скорость прокладки инженерных сетей
		Ф6.4.	Монтаж шпунта для прокладки коммуникаций	Влияние шпунта на безопасность и скорость прокладки инженерных сетей
7	Охрана окружающей среды	Ф7.1.	Требования к обеспечению пожарной безопасности на строительной площадке и прилегающей территории	Влияние требований к обеспечению пожарной безопасности на строительной площадке и прилегающей территории
		Ф7.2.	Обеспечение качества воздуха в ходе выполнения СМР	Влияние качества воздуха в ходе выполнения СМР на темпы строительства и безопасность
		Ф7.3.	Требования к качеству воды для производства СМР	Влияние требований к качеству воды для производства СМР и обеспечения участников строительства

		Ф7.4.	Защита от шума	Влияние мероприятий по защите от шума на безопасность персонала и темпы строительства
8	Информационная среда (Актуальность и достоверность информации)	Ф8.1.	Передача проектной и рабочей документации от проектной организации участникам строительства	Влияние скорости обмена рабочей документацией между участниками строительства
		Ф8.2.	Контроль качества проектной и рабочей документации	Влияние качества проектной и рабочей документации на скорость и качество выполняемых элементов и узлов
		Ф8.3.	Контроль и совмещение ППР подрядчиков	Единообразие принятых технических решений, качество и скорость монтажа
		Ф8.4.	Комплектность информации	Необходимость и достаточность (комплектность) информации для принятия управленческого решения
		Ф8.5.	Полнота информации	Определяет достаточность данных для принятия решений или для создания новых данных на основе имеющихся. Чем полнее данные, тем проще подобрать метод, вносящий минимум погрешностей в ход информационного процесса
		Ф8.6.	Своевременность информации	Оценивается временем выдачи (получения), в течение которого информация не потеряла свою актуальность
		Ф8.7.	Достоверность информации	Это степень соответствия между получаемой и исходящей информацией
		Ф8.8.	Экономичность информации	Характеризует уровень затрат на ее сбор, формирование, передачу и обработку
9	Организация строительного производства	Ф9.1.	Качество организационно-технических решений	Влияние качества организационно-технических решений на темпы строительства, качество, безопасность
		Ф9.2.	Планирование	Влияние качества планирования на темпы реализации СМР
		Ф9.3.	Технология строительного производства	Применение эффективных методов выполнения производственных процессов.
		Ф9.4.	Системотехника организации строительства	Эффективность комплексного использования в практике систем автоматизированного проектирования, автоматизированных систем управления, интегрированных систем информатизации.
		Ф9.5.	Сетевые модели, сетевые графики, система автоматизированного проектирования	Эффективность комплексного использования в практике систем автоматизированного проектирования, сетевых моделей и графиков.

		Ф9.6.	Поточные методы и модели	Эффективное использование материальных, технических и трудовых ресурсов строительных машин и оборудования для непрерывного и равномерного выпуска строительной продукции.
		Ф9.7.	Балансовые методы и модели	Эффективное использование экономико-математической модели, построенной в виде системы уравнений, представляющих балансовые соотношения и характеризующих равенство поступившего (произведенного, закупленного) и распределенного, расходуемого продукта.
		Ф9.8.	Логико-смысловое моделирование (обработка на ЭВМ данных)	Эффективное использование представления знаний в виде многомерной модели, состоящей из двух компонентов: содержательного (смысловые элементы) и логического (порядок расположения смысловых элементов). Дальнейшая их визуализация и обработка на ЭВМ.
		Ф9.9.	Имитационное моделирование	Эффективное использование методов исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе.
10	Организационные мероприятия	Ф10.1.	Система управления	Определенный набор средств для управления подконтрольным объектом: возможность сбора показаний о его состоянии, а также средств воздействия на его поведение, предназначенный для достижения заданных целей.
		Ф10.2.	Получение Технических Условий	Влияние получений технических условий на старт работ подготовительного периода
		Ф10.3.	Скорость согласования проектов и устранение замечаний по ним	Влияние скорости согласования проектов на темп строительства
		Ф10.4.	Инфраструктура	Комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и обеспечивающих основу функционирования системы строительного производства.
		Ф10.5.	Социальные объекты	Влияние количества социальных объектов на темпы реализации строительства и ввода этапов строительства при кластерной жилой городской застройке.

		Ф10.6.	Транспортная сеть	Влияние транспортной сети на темпы реализации строительства и ввода этапов строительства при кластерной жилой городской застройке.
		Ф10.7.	Повторная экспертиза проектов	Влияние повторной экспертизы проектов на соответствие фактически построенного здания требованиям и решениям проекта, скорость получения ЗОС
		Ф10.8.	Ввод объектов в эксплуатацию	Темпы ввода этапов строительства в эксплуатацию.

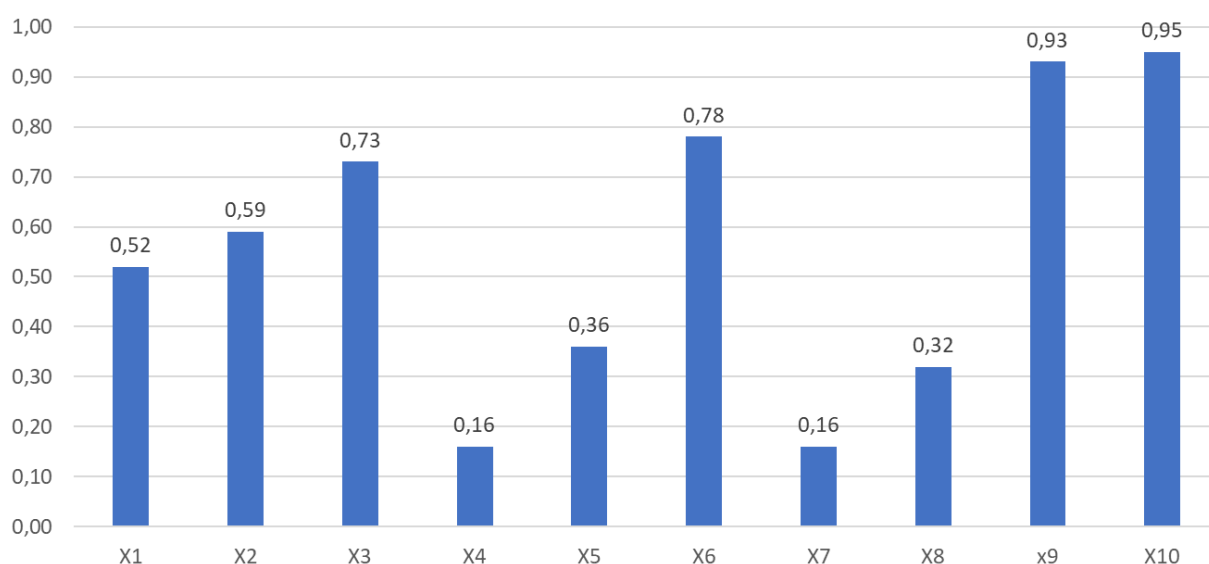
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате примененных количественных, качественных и смешанных методов оценки рисков определены более значимые и менее значимые риски по группам.

На первом этапе исследования в результате применения количественных, качественных и смешанных методов, были выявлены более значимые и менее значимые организационно-технические риски, влияющие на строительный процесс реализации массовой жилой застройки, приведенные в таблице. Путем ранжирования от 0 до 1 определена значимость групп риска.

Наиболее значимые риски связаны с разделами: «Земляные работы и устройство покрытий», «Прокладка инженерных коммуникаций», «Организации строительного производства», завершающим этапом жизненного цикла проекта «Организационные мероприятия». Менее значимые риски определены экспертами по разделам: «Монтаж подземной части зданий», «Охрана окружающей среды», «Организация логистической схемы снабжения объектов», «Информационная среда». Данные экспертного пороса приведены в Таблице 2.

Таблица 2. Факторы организационно-технических рисков при реализации проектов массовой жилой застройки.



ВЫВОДЫ

В статье описаны основные термины, методы идентификации и управления рисками.

В результате применения количественных, качественных и смешанных методов оценки рисков определены более значимые и менее значимые риски по группам.

Управление наиболее значимыми рисками или группами рисков на всем протяжении жизненного цикла проекта позволяют контролировать и корректировать ход реализации проекта. Для упрощения и систематизации рисков, а также их ранжирования целесообразно применять математические аппараты, позволяющие контролировать и отображать прогнозируемые сценарии развития событий, что будет являться дальнейшей разработкой управления рисками.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Топчий Д.В., Музыченко С.Г., Гоцоев С.Д.* Формирование структуры расчета эффективности организации контроля организационно-технологических процессов при репрофилировании // Вестник Евразийской науки, 2019 №5, <https://esj.today/PDF/90SAVN519.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. С. 2-5.
2. *Ланидус А.А.* Оптимизация управления девелоперскими проектами // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. № 3 (110). С. 50–52.
3. *Ланидус А.А.* Успешный опыт управления строительными проектами // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. № 6 (113). С. 86–88.
4. *М.И. Павлов* Методология управления рисками проектов // Журнал «Акционерное общество: вопросы корпоративного управления» 2008. № 10 (53) С. 3-10.
5. *В.Е. Шкурко* Управление рисками проектов// Учебное пособие Министерство образования и науки Рос. Федерации, Урал. Федор. ун-т – Екатеринбург Издательство Уральского Федерального университета, 2014. С 41-57.
6. *В.М. Картвелишвили* Риск-менеджмент. // Методы оценки риска: учебное пособие / В. М. Картвелишвили, О. А. Свиридова. – Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2017. С 4-50
7. *Топчий Д.В., Кочурина Е.О.* Дестабилизирующие факторы при реновации городских территорий // Перспективы науки. 2018. № 10 (109). С. 110–114.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ОБДЕЛКИ, ОГРАЖДЕНИЯ СТАРТОВОГО И ПРИЕМНОГО КОТЛОВАНОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНОГО ТОННЕЛЯ ЗАКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Е.А. Король¹, З.Х. Чипова²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹professorkorol@mail.ru

²zara4_2011@mail.ru

Аннотация

В связи с необходимостью повышения производительности труда при строительстве транспортных тоннелей закрытым способом, выбора эффективных методов, в данной статье рассматривается технологический процесс устройства обделки транспортного тоннеля и технологический процесс производства работ по устройству ограждения стартового и приемного котлованов. После структурного анализа технологических процессов при сооружении транспортного тоннеля закрытым способом был предложен ряд технологий при котором можно будет систематизировать процесс строительства, оптимизировать график производства работ, повысить эффективность технологических процессов устройства обделки, установка рам временного крепления, бетонирование временной крепи, ограждения стартового и приемного котлованов транспортного тоннеля закрытым способом, устройства шпунтового ограждения и выбор техники согласно проекту производства работ на технологической площадке и крепление вибропогружателя со шпунтом в процессе погружения.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование данной статьи связана с увеличением объемов строительства подземных объектов в условиях плотной городской застройки и необходимостью обеспечения строительного комплекса новыми эффективными технологиями, формализованными технологическими параметрами.

Сооружение транспортных тоннелей позволяет увеличить пропускную способность автомобильных дорог, особенно на крупных перекрестках, за счет отвода транспортных потоков высокой плотности под землю и их невидимости на поверхности, тем самым увеличивая существующую пропускную способность района. Комплексное освоение подземного пространства, заключающееся в строительстве не только отдельных автомобильных транспортных тоннелей, подземных переходов, коллекторов связи, подземных автостоянок и транспортно – пересадочных узлов в составе единой транспортной развязки комплексной застройки подземных пространств снижает общие затраты на строительство и одновременно решает ряд транспортных проблем, присущих крупным городам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При строительстве транспортных тоннелей закрытым способом на стадии обделки выполняют работы по армированию постоянной обделки, установка листов металлоизоляции между балками крепления и укладка бетона в постоянную обделку. На рисунке 1 - схема по установке рам временного крепления, на рисунке 2 - схема бетонирования временной крепи.

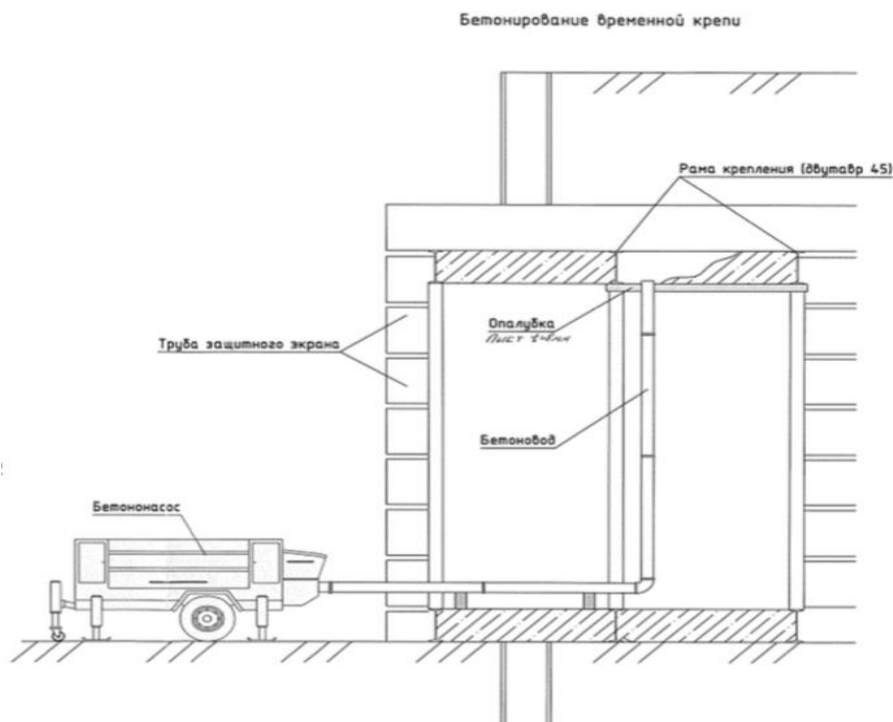


Рис. 1. Установка рам временного крепления

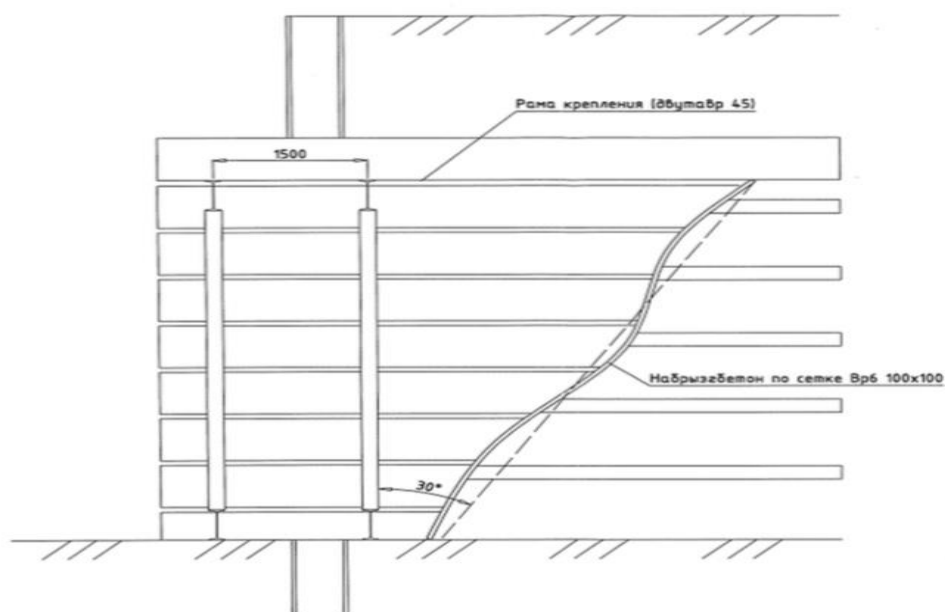


Рис. 2. Бетонирование временной крепи

Ограждение котлованов при строительстве выполняется шпунтом Ларсена Л5- УМ, также допускается использование двутавровых балок. На участках с глубиной котлованов менее 3 - х метров, допускается использовать в качестве ограждения трубы Ду 219x8 и деревянную забирку из инвентарных щитов толщиной 50 мм. Устройство шпунтового ограждения из шпунта Ларсена производится вибропогружателем, навешанным на автокран (либо экскаватор). Техника устанавливается согласно проекту производства работ на обустроенных технологических площадках, при этом вылет стрелы от центра до оси забивки шпунта составляет до 18 м. Ввиду того, что шпунт Ларсена забивается по периметру, места установки крана обусловлены, исходя из того, что вылет стрелы составляет от 8 до 18 м.

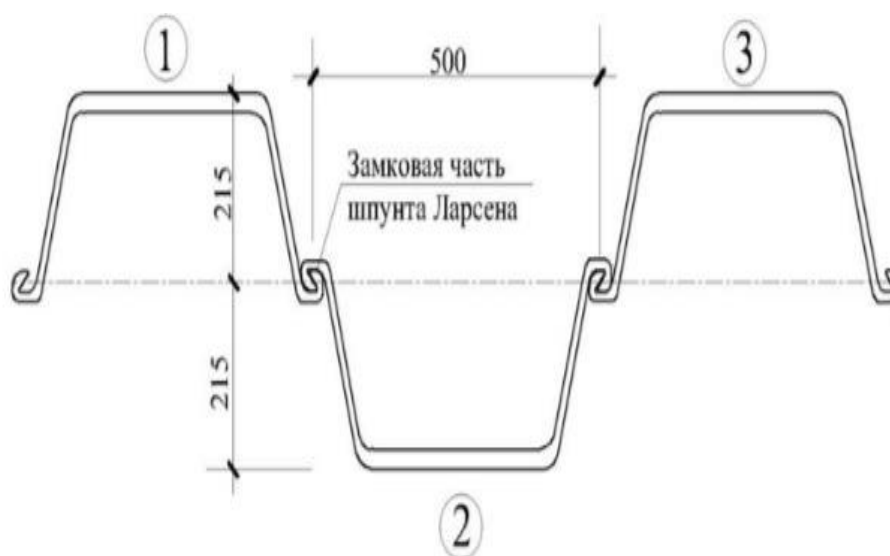


Рис. 3. Крепление вибропогружателя со шпунтом

Крепление шпунтового вибропогружателя должно быть прочным в процессе пропитки. При соединении новых шпунтовых звеньев необходимо обеспечить их соосность. Кондукторы и направляющие следует использовать для обеспечения установленного допуска на отклонения от проектного положения шпунта. При возведении стен из шпунта в качестве направляющих используют два параллельных бруса, разнесенных на расстояние, равное ширине шпунта плюс зазор в 1-2 см, каждая балка оснащена парой регулируемых обрешиненных роликов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для строительства транспортных тоннелей закрытым способом, также устройства обделок, устройство производительности работ стартового и приемного котлованов был построен эффективный технологический процесс по устройству обделки, установке рам временного крепления, бетонированию временной крепи, по устройству ограждения стартового и приемного котлованов, выявлены особенности технологического процесса на объекте: «Строительство транспортного и пешеходного тоннелей в створе Новомещерского проезда через железную дорогу».

ВЫВОДЫ

Технологический процесс устройства обделки и ограждения стартового и приемного котлованов при строительстве подземных сооружений представляют собой комплекс технологических процессов, каждый из которых влияет на общую трудоемкость, продолжительность и стоимость их сооружения. Несмотря на общие принципы устройства ограждающих металлоконструкций, различные конструктивные, технологические решения и новые применяемые материалы, механизмы открывают новые возможности повышения эффективности сооружения устройства обделки, ограждения стартового и приемного котлованов при строительстве транспортных тоннелей закрытым способом, обеспечивая качество и долговечность сооружения тоннелей.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 122.13330.2012 Тоннели железнодорожные и автодорожные. Актуализированная редакция СНиП 32-04-97 (с Изменением № 1): свод правил: дата введения 2013-01-01 // Минрегион России. — Изд. официальное. — Москва: Минрегион России, 2012.
2. СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011 Освоение подземного строительства. Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки (с Изменением № 1, с Поправкой): стандарт организации: дата принятия 2017-06-02 // НОСТРОЙ. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200090839> (дата обращения: 15.02.2021).

3. *Король Е.А., Никифорова Н.С.* Особенности проектирования и строительства подземных сооружений неглубокого заложения в сложных грунтовых условиях // *Основания, фундаменты и механика грунтов.* 2018. № 1. С. 25-27.
4. *Теличенко В.И.* Управление программами строительства подземных объектов: Научное издание // *Теличенко В. И., Король Е. А., Каган П. Б., Конюхов Д. С.* - Москва: Издательство АСВ, 2010. - 296 с.
5. *Пономарев А.Б.* Подземное строительство: учебное пособие // *А.Б. Пономарев, Ю.Л. Винников.* — Пермь: Изд-во Пермского нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. — 261 с. — ISBN 978-5-398-01233-0.
6. *Шулятьев О.А.* Освоение подземного пространства городов // *О.А. Шулятьев, О.А. Мозгачева, В.С. Поспехов.* — Москва: АСВ, 2017. — 511 с. — ISBN 978-5-4323-0225-0.
7. *Король Е.А., Чипова З.Х.* Структурный анализ трудозатрат при строительстве тоннелей открытым, закрытым методами и методом сверху вниз // *Научно – практический Интернет журнал «Строительство и Архитектура».* 2022. Том 10 №2 (35). Режим доступа: <https://riorpub.com/en/nauka/article/50989/view>. Дата обращения: 20.06.2022.

ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ НА ОБЪЕКТАХ ГРАЖДАНСКОГО ВЫСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Е.О. Кочурина¹, Д.В. Топчий², В.С. Чернигов³, А.Ю. Кочетков⁴

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

Аннотация

Статья посвящена изучению особенностей формирования организационной структуры строительного контроля на объектах гражданского высотного строительства. Этап строительства является лакмусовой бумажкой при выявлении слабых звеньев, связанных на подготовительных этапах с целью оптимизации временных и экономических решений при возведении гражданских зданий. На основании получаемых из различных источников данных, как от первых лиц, так и от тех, кто пользуется готовым продуктом, экономические затраты оптимизируются зачастую в области относящейся к строительному контролю, а именно – в части его объемов и качества.

Для выбора оптимального объема видов и методов строительного контроля необходима разработка методики по количественной и качественной оценке рисков при устройстве глубоких котлованов, высотных этажей на урбанизированных территориях в условиях плотной городской застройки.

Природа проявления рисков может быть различной, начиная от недовольства шумными работами соседей строительной площадки, что затрагивает экологическую сторону вопроса, но, зачастую, носит лишь рекомендательный характер, заканчивая невозможностью обеспечения механической безопасностью конструкций, что может повлечь за собой причинение вреда жизни или здоровью граждан. Однако, нельзя исключать из рисков и такой аспект как «человеческий фактор».

Урбанизация в России большими темпами захватывает все больше городов. По результатам переписи населения в 2021 году установлено, что средний показатель урбанизации в стране составляет 75%, что на 3% больше по сравнению в 2010 годом.

На конец 2022 года можно выделить несколько городов – миллионников, к ним относятся: Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Екатеринбург и еще двенадцать городов.

Несмотря на то, что, согласно открытым данным Федеральной службы государственной статистики, с 2018 года наблюдается стабильный отрицательный прирост населения, численность населения городов продолжает расти, увеличивая не только роль городов в развитии общества в общем, но и в частности нагрузку на существующие здания и сооружения в городах в техническом и моральном аспекте[1].

В 2017 году в Москве стартовала программа реновации жилья, регулируемая Федеральным законом от 01.07.2017 №141-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации "О статусе столицы Российской Федерации" и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части установления особенностей регулирования отдельных правоотношений в целях реновации жилищного фонда в субъекте Российской Федерации - городе федерального значения Москве», направленная на застройку территорий, занимаемых ранее ветхим многоэтажным жилым фондом, дата постройки которого датируется 1957 – 1968 годами. Также, вышедший в конце 2020 года,, Федеральный закон от 30.12.2022 №494-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях обеспечения комплексного развития территорий», направлен на комплектное развитие территорий, с целью «создание благоприятных условий проживания граждан, обновление среды жизнедеятельности и территорий общего пользования поселений, городских округов» (п. 34 ст. 1 ГрК РФ).

Разработка и вступление в силу как минимум двух выше представленных Федеральных законов говорит о том, что глобальная урбанизация сильно влияет на быстрое развитие городов. В Таблице 1 представлена диаграмма, показывающая динамику введенных в действие общих площадей жилых домов на 1000 человек населения в регионах-миллионниках в 2021 года по сравнению с 2010 годом[2].

Субъекты Российской Федерации Введено в действие общей площади жилых домов на 1000 человек населения

	2010 год, м2	2021 год, м2
Москва	154	617
Краснодарский край	690	1105
Санкт-Петербург	546	644
Казань	535	774
Уфа	493	725
Екатеринбург	411	675
Ростовская область	423	645
Новосибирская область	518	720
Воронежская область	450	812
Самарская область	324	574
Челябинская область	308	503
Новгородская область	382	522
Красноярский край	349	472
Пермский край	288	513
Волгоградская область	255	324
Омская область	357	338

Таблица 1. Количество жилых площадей на 100 человек населения

На Рис. 1 показан процентный прирост введенных в эксплуатацию площадей в 2021 году по сравнению в 2010 годом. На диаграмме видно, что Москва является лидером по вводу жилья в эксплуатацию. Данный факт обусловлен в том числе вступлением в силу Федеральный закон от 01.07.2017 №141-ФЗ, что позволило этому городу к 2021 году стать лидером среди российских городов по качеству городской среды и жизни в целом.

На сегодняшний день плотность городской застройки в Москве составляет 30 тысяч кв. м жилья на 1 га земли, на ряду с тем, что плотность среднего европейского города, исключая плотно застроенный центры с небоскребами – около 6 – 7тысяч кв. м на 1 га.

Данный факт, обусловленный колоссальным ростом городского населения, вынуждает экспертов в области строительства ставить перед собой задачи по увеличению городской территории. Данный формат реализуется в вертикальном планировании городского пространства[3].

Однако, данное решение по реализации строительства влечет за собой ряд проблем, связанных с безопасностью при строительстве, но и историко-культурного сложившегося облика города[5].

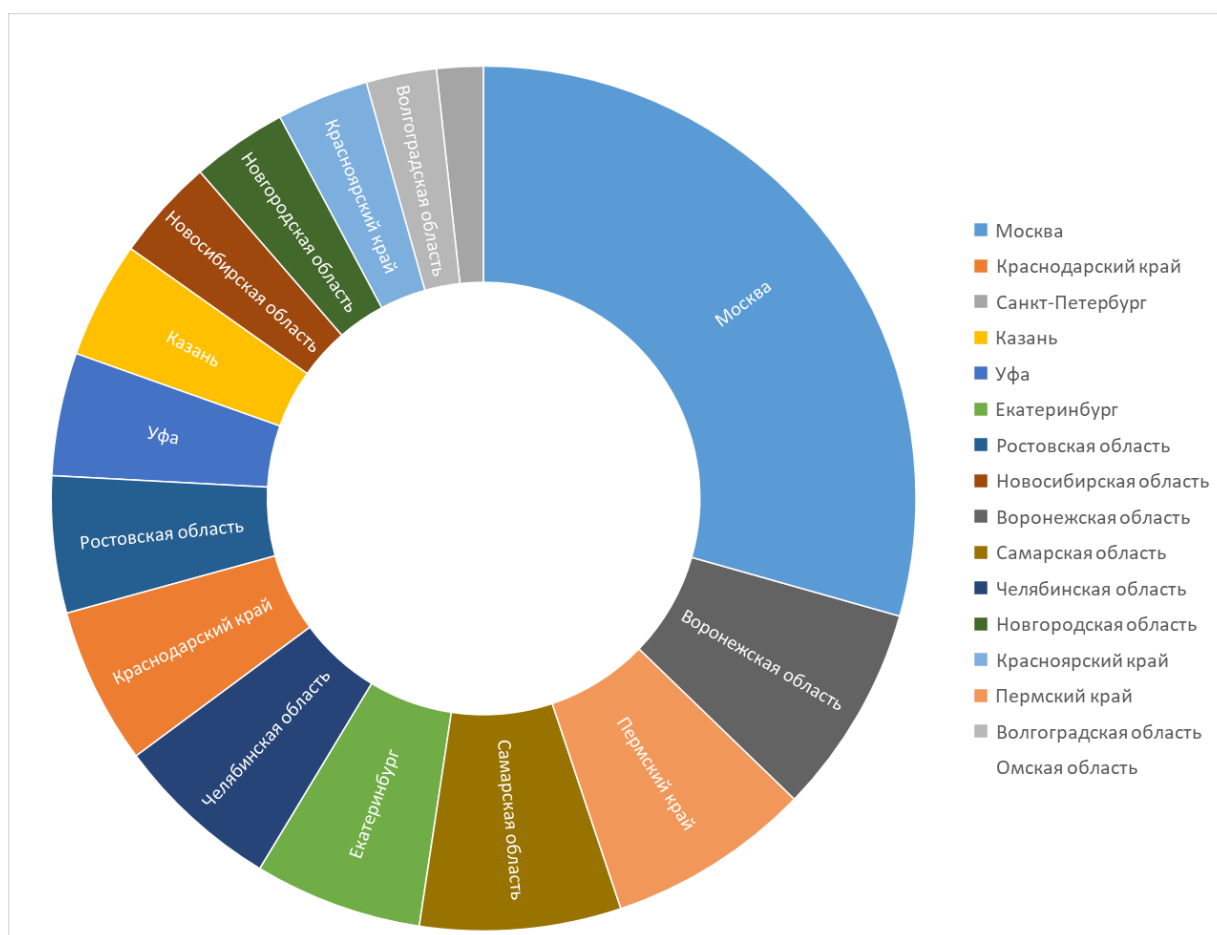


Рис. 1. Процентный прирост введенных в эксплуатацию площадей в 2021 году по сравнению в 2010 годом

Объекты гражданского высотного строительства наряду с обыкновенными зданиями и сооружениями при формировании структуры строительно-монтажных работ имеют ряд отличительных особенностей, связанных с этапами, сроками, и технологической сложностью выполнения технологически работ.

Так, на этапе выполнения земляных работ, по устройству котлована, необходимо учитывать такой параметр как глубина залегания, которая напрямую влечет за собой усложнение всех тех процессов, в особенности при выполнении работ в стесненных условиях.

В настоящий момент существует множество технологий разработки котлованов, в том числе методом «Top-Down», при которых ограждающие конструкции являются в том числе и несущими, разработка грунтов дна котлована происходит параллельно в омоноличиванием нижележащих этажей.

Такой метод возведения зданий влечет за собой более сложное выполнение работ в особенности при сложных гидрогеологических условиях. Подготовка основания под фундамент и его последующее бетонирование выполняются практически непрерывно для того чтобы не допустить подтопления котлована грунтовыми водами, поэтапная разработка грунта с его выемкой осуществляется «с колес».

Преимущественно, это относится к использованию техники и материалов, которые, в свою очередь, в значительной степени отличаются от материалов, используемых при обыкновенном строительстве. Например, при невозможности устройства внешнего гидроизоляционного слоя подземных конструкций, Застройщик вынужден применять гидрофобные бетоны, что значительно увеличивает экономические затраты.

Для высотного и уникального строительства наиболее характерно использование свайного основания из буронабивных свай. Для контроля и мониторинга подтверждения

правильности такого решения используются тензометры, а для контроля длины сплошности, используется ультразвуковая дефектоскопия, нормированной и утвержденной методики осуществления контроля для которой нет. Методик или стандартов, которые указывают на обязательность подобного вида контроля не утвердили на сегодняшний день, однако, в настоящий момент есть необходимость проведения мониторингов, для того чтобы избежать негативных последствий.

При высотном строительстве, фундаменты здания из-за большого давления на грунт, выполняются сверхмассивными, что, в свою очередь, требует от застройщика разработки специальных мероприятий по предотвращению негативного воздействия от перепадов температур от центра конструкции к его краям, и возможного возникновения дефектов. Для зданий классифицирующихся как уникальные, а также для высотного строительства – до 100 м, наиболее характерны применение высокопрочных бетонов.

Стоит отметить, что с введением новых стандартов, применение универсальных методик оценки прочностных характеристик бетона не допускается. В связи с этим необходимо проводить работы по изучению материалов, используемых для приготовления бетонных смесей в лабораторных условиях перед началом строительно-монтажных работ для получения более достоверной информации об их свойствах, сроках и интенсивности твердения, подвижности и иных характеристик получаемого бетонного камня.

Способы возведения конструкций на отметке выше нуля при высотном строительстве в общем, мало чем отличается от обычного строения, кроме материалов, используемых при проведении СМР.

Для уникальных объектов, чья высота более 100м, отдельным этапом следует выделить фасадное остекление, для которого, с учетом ветровых, а также, дополнительных вертикальных нагрузок, используется специально разработанные проекты. Кроме того, здания, попадающие в категорию КС-3, к которым относятся и уникальные, необходимо осуществлять НТСС, включая геологический, геотехнический мониторинги.

Строительный контроль является неотъемлемой частью строительного процесса. Управление качеством строительных работ с учетом технологических особенностей возводимых зданий, становится систематическим поиском возможностей улучшения строительной деятельности. Существуют различные методы управления качеством работ, включая технологии информационного моделирования объекта, что повышает качество и эффективность строительного производства, формирует стратегии, позволяющие оперативно принять инвестиционные решение[7]. Однако, существует важнейших фактор, критически влияющий на качество реализации строительного контроля на объектах уникального строительства, а именно – кадровый состав специалистов, осуществляющих данные работы, в частности, их уровни квалификации. реализовать основополагающие задачи, поставленные и описанные в Кодексе РФ от 29.12.2004 N 190-ФЗ, Федеральном законе от 30.12.2009 N 384-ФЗ и Федеральном законе от 27.12.2002 N 184-ФЗ, такие как: защита жизни и здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, охрана окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений, а также, обеспечение надлежащего качества объектов строительства, путем применения прогрессивных технических и технологических решений, становится затруднительным на фундаментальном уровне в связи с тем, что до реализации проектов по возведению уникальных зданий и сооружений могут быть допущены физические лица, не имеющие минимально необходимых знаний и компетенций, предусмотренных в образовательных программах, регламентированных Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 31.05.2017 N 483, с связи с тем, что Кодекс РФ от 29.12.2004 N 190-ФЗ не предъявляет обязательных требования к уровню квалификации лиц, осуществляющих строительство уникальных зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дисиков Ю.Ю. Современные тенденции проектирования и строительства уникальных зданий и сооружений// Новая наука: Теоретический и практический взгляд.2017. №2-2. С.66-68.
2. Леонтьев Е.В. Газизов Р.Ю. Научно-техническое сопровождение при проектировании объектов производственного и гражданского назначения повышенного уровня ответственности// Вестник государственной экспертизы. 2020. №1. С. 54-59.
3. Олейник П.П. Улитина А.Д. Строительный контроль как стратегия повышения качества зданий и сооружений// Промышленное и гражданское строительство. 2020. №4. С. 22-27.DOI: 10.33622/0869-7019.2020.04.22-27.
4. Талапов В. Жизненный цикл здания и его связь с внедрением технологии BIM//САПР и графика. 2017. №2 (244). С. 8-12.
5. Topchy D.V.,Yurgaitis A.Yu., Babushkin E.S., Zueva D.D. Construction supervision during capital construction, reconstruction and re-profiling//MATEC Web of Conferences. 2019. Vol.265. Issue 9. P. 07022. DOI:10.1051/matecconf/201926507022.
6. Лapidус А.А. Научно-техническое сопровождение изысканий, проектирования и строительства как обязательный элемент достижения требуемых показателей проекта // Вестник МГСУ. 2019. Т.14.№11. С.1428-1437. DOI:10.22227/1997-0935.2019.11.1428-1437.
7. Топчий Д.В., Токарский А.Я. Концепция контроля качества организации строительных процессов при проведении строительного надзора на основе использования информационных технологий // Вестник Евразийской науки, 2019 №3, <https://esj.today/PDF/52SAVN319.pdf>

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ ТРУДОЗАТРАТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА СТРОИТЕЛЬСТВО И КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ ЗДАНИЙ

О.А. Король¹, Г.Л. Акопян², Р.С. Петросян³

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹KorolOA@mgsu.ru

²Akopyan1496@yandex.ru

³PetrosynRS@mgsu.ru

Аннотация

Затраты труда на всех этапах формирования жизненного цикла зданий, включая проектирование, возведение и капитальный ремонт зданий включают в себя затраты труда всех категорий работников, участвующих в процессе с момента начала подготовительных работ до сдачи объекта в эксплуатацию. К ним относятся и затраты труда на разработку проектной и рабочей документации. Для осуществления производственной деятельности должны быть определены и спланированы процессы, необходимые для выпуска проектной документации, их последовательность и методики взаимодействия. В настоящее время отсутствуют общие подходы определения стоимости проектных работ, чаще всего каждая организация вводит внутренние стандарты предприятия. Сформированные методические подходы оценки стоимости помогут систематизировать все виды трудовых затрат, а их структурный анализ поможет выделить перспективные сегменты для реализации мероприятий по сокращению соответствующих затрат труда, наиболее существенно влияющих на снижение общих затрат труда.

ВВЕДЕНИЕ

Общие затраты труда в жизненном цикле зданий состоят из затрат труда всех категорий строительно-производственного и управленческого персонала, прямо или косвенно участвующего в создании строительной продукции от начала подготовительных работ до сдачи объекта в эксплуатацию.

Одним из важных этапов работ является разработка проектной документации. От качества разработки проектной документации зависит положительный результат строительной деятельности. Таким образом, основной целью проектной организации является обеспечение строительной площадки документацией, отвечающей требованиям заказчика, органов государственной экспертизы и исполнительных органов Российской Федерации.

Разработка качественной проектной документации, отвечающей всем требованиям, невозможна без обоснованного подхода к организации процесса проектирования и планирования ее деятельности.

В ценах проектных работ, определяемых на основании параметров и нормативов цены проектных работ, учитываются затраты на оплату труда производственного персонала и административно-управленческого персонала, страховые платежи (взносы) по обязательному страхованию персонала, амортизацию (аренду) основных средств и расходы по всем видам их ремонта, материальные затраты, затраты на содержание зданий и арендную плату, налоги и сборы (кроме НДС).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проанализировав действующую нормативную базу было выявлено, что в настоящее время отсутствуют методики оценки трудовых затрат на разработку проектной и рабочей документации. Действующий Приказ Минстроя №707/ПР от 01.10.2021 «Утверждение методики определения стоимости работ по подготовке проектной документации»

применим для объектов, финансируемых с привлечением средств бюджетной системы РФ.

Данные о влиянии внедрения ТИМ-технологий в процесс проектирования также отсутствуют, хотя в настоящее время автоматизация процессов является неотъемлемой частью при выполнении проектных работ.

Разработка проектной документации ведется в соответствии с Постановлением Правительства РФ №87 от 16.02.2008 (в ред. от 27.05.2022) «О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию».

Одним из важнейшим показателей, влияющим на эффективность проектной деятельности является производительность труда работников, определяемая по формуле:

$$П = О/Т \quad (1)$$

где О – объем документации, руб;

Т – затраты времени на разработку документации, чел*дн.

Цена проектных работ определяется по формуле:

$$Ц = \frac{C_{\text{стр}} \times a_i}{100} \quad (2)$$

где Ц – цена проектных работ, тыс. руб;

$C_{\text{стр}}$ – сметная стоимость строительства объекта, тыс. руб;

a_i – норматив проектных работ для стоимости строительства, в %.

Расчет стоимостного показателя проектных работ на основании трудозатрат проектировщиков осуществляется по формуле:

$$C_{\text{пр}} = V_{\text{ср}} \times T_{\text{общ}} \times Ч_{\text{общ}} \times K_{\text{кв-уч}} \quad (3)$$

где $C_{\text{пр}}$ – стоимостной показатель проектных работ, тыс. руб;

$V_{\text{ср}}$ – средневыводная выработка одного проектировщика, тыс. руб;

$T_{\text{общ}}$ – продолжительность выполнения работ в соответствии с календарным планом, дни;

$Ч_{\text{общ}}$ – численность исполнителей, чел;

$K_{\text{кв-уч}}$ – коэффициент участия проектировщиков различной квалификации при разработке ПД/РД.

Результативность труда характеризует выработка. Средневыводная единичная выработка одного исполнителя определяется по формуле:

$$V_{\text{ср}} = \frac{ЗП_{\text{ср}} \times (1 + P)}{K_3} \quad (4)$$

Где $ЗП_{\text{ср}}$ – средневыводная заработная плата одного исполнителя-проектировщика.

Указывается по данным Росстата для деятельности в области архитектура (ЭКВЭД 71.11) за год, а также для работ по подготовке ПД, содержащей материалы в форме информационной модели (код ЭКВЭД 71.12);

P – уровень рентабельности, % (на уровне 10%);

K_3 – коэффициент учета доли зарплаты в себестоимости (в размере 0,4).

Коэффициент, учитывающий степень участия исполнителей – проектировщиков различной квалификации в разработке ПД/РД рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{кз-уч}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{T_{\text{фи}}}{T_{\text{общ}}} \times Ч_i \times I_i}{Ч_{\text{общ}}} \leq 1,0 \quad (5)$$

где I_i – индекс квалификации исполнителей проектировщиков;

$Ч_i$ – численность исполнителей проектировщиков одной квалификации;

$T_{\text{фi}}$ – фактическое время работы исполнителей, дни;

$T_{\text{общ}}$ – продолжительность выполнения проектных работ по календарному плану, дни.

При выполнении расчетов для уникальных зданий применяется повышающий коэффициент – 1, 2.

Цены МНЗ на проектные работы учитывают затраты на подготовку проектной и (или) рабочей документации внутренних сетей инженерно-технического обеспечения здания, предназначенные для выполнения работы водоснабжения, диспетчеризации, отопления, электроснабжения, мусороудаления, вентиляции, кондиционирования воздуха, канализации, газоснабжения, связи, информатизации, вертикального транспорта в объеме, ограниченном наружными поверхностями ограждающих конструкций зданий и выпусками в границах земельного участка под строительство до их точки подключения к наружным инженерным сетям в пределах земельного участка, отведенного под строительство, но не более 50 метров от периметра здания в том числе:

- а) водоснабжение - до первого колодца;
- б) канализация - до первого колодца;
- в) электроснабжение - от зданий до точки подключения в трансформаторной подстанции;
- г) отопление и теплоснабжение - от здания до запорной арматуры;
- д) внутреннее газоснабжение - от здания до ближайшей запорной арматуры;
- е) слаботочные сети - от здания до ближайшего колодца на сетях телефонной канализации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно Приказу №707/ПР от 01.10.2021 относительная стоимость проектных работ определяется в соответствии с Таблицей 1.

Таблица 1. Таблица относительной стоимости проектных работ (нормативная)

№	Вид	ПЗУ			АР	КР	ИОС								ПОС	СМ
		ГП	БЛГ	ОР			ТХ	ОВ	ВК	ЭО	СС	АС	КОН	ХС		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Нормативная																
2	ПД	4,0	3,0	3,1	20,0	24,1	13	5,8	4,9	3,9	2,9	2,1	-	-	6,1	7,1
3	РД	2,4	2,0	2,1	19,5	28,1	18	7,6	6,4	5,2	4,3	3,3	-	-	1,2	-
4	П+Р	3,0	2,4	2,5	19,7	26,6	16	6,9	5,8	4,7	3,7	2,8	-	-	3,1	2,8

Проанализировав несколько объектов жилого и общественного назначения, площадью от 2 тыс.кв.м до 515 000 тыс.кв.м, включая затраты на внедрение ТИМ-технологий, было выявлено, что реальная относительная стоимость проектных работ существенно отличается от нормативной. Полученные результаты приведены в Таблице 2.

Таблица 2. Таблица относительной стоимости проектных работ (фактическая)

№	Вид	ПЗУ			АР	КР	ИОС								ПОС	ММ
		ГП	БЛГ	ООС			ТХ	ОВ	ВК	ЭОМ	СС	АС	ПТ			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	
Фактический анализ																
2	ПД	2,7	1,0	1,1	27,9	18,6	1,4	11,7	5,3	6,3	4,0	3,0	3,0	2,6	2,3	
3	РД	1,1	0,8	0,7	16,5	24,7	0,3	14,2	7,7	8,2	6,0	5,2	2,5	1,5	1,1	
4	П+Р	1,9	0,9	0,9	22,2	21,6	0,85	12,9	6,5	7,3	5,0	4,1	2,8	2,05	1,7	

Сравнивая показатели видно, что нормативная относительная стоимость проектных работ учитывает разработку не всех разделов проектной документации, а также не рассматривает влияние применения ТИМ-технологий при разработке. Автоматизация помогает существенно улучшить качество проектной документации, при этом уменьшив сроки выполнения работ.

ВЫВОДЫ

Трудоемкость проектных работ является составляющей частью общих трудозатрат в жизненном цикле зданий. Для оценки ее влияния на общие трудозатраты необходима разработка актуального оценочного инструментария, учитывающего все современные потребности при разработке проектной документации. Внедрение цифровых технологий при проектировании оказывает поэтапное воздействие. Изначально возникает рост затрат на программное обеспечение, заработную плату и обучение новым технологиям, что в дальнейшем приводит к сокращению сроков разработки проектной документации, повышению производительности труда и улучшению качества разрабатываемой проектной документации на строительство и капитальный ремонт зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шрейбер, К.А., Шрейбер А.А. Капитальный ремонт общего имущества многоквартирных домов: контроль за деятельностью региональных операторов//Государственный аудит. Право. Экономика. — 2017. — № 3-4. — С.153-159
2. Котова, Л. О. Инновационные технологии капитального ремонта многоквартирных жилых домов. // Строительство- формирование среды жизнедеятельности XXI Международная научная конференция: сборник материалов семинара «Молодежные инновации». Москва, 2018. С. 341- 344.
3. Ковырев С.И. Планирование разработки проектной документации//Учебно-методическое пособие. Гомель. БелГУТ. 2021 ISBN 978-985-891-033-4
4. Акоюн Г.Л. Организационно-технологическое моделирование возведения комплекса объектов//Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов Института инженерно-экологического строительства и механизации НИУ МГСУ. Москва. 2021 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47374911>
5. Акоруян G.L., Karol E.A. Structural analysis of labour coats for the Construction of buildings and their structural elements//International Scientific Siberian Transport Forum Trans Siberia - 2021 pp 1327–1335 https://doi.org/10.1007/978-3-030-96383-5_148
6. Мищенко, В. Я. Применение алгоритмов поиска кратчайшего пути в ориентированном графе при планировании капитального ремонта жилищного фонда// Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году сборник научных трудов РААСН. — Москва, 2019. — С. 326- 338.
7. Петросян Р.С., Зюкин В.Д. Систематизация процессов взаимодействия заказчика и подрядной организации, осуществляющих проведение капитального ремонта// Строительство: Наука и Образование (Construction: Science and Education) № 1(38) 2021 г. стр. 4. URL: <http://nso-journal.ru> DOI: <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2021.1.4>
8. Король О.А., Петросян Р.С. Резервы повышения технологичности производства работ при капитальном ремонте зданий // БСТ Ежемесячное издание материалов по техническому регулированию в строительстве - 2020 (1027) №3 ISSN 0007-7690, с.36-38. <http://bstmag.ru/articlaid=1982>
9. Elena Karol, Rima Petrosal and Nadezhda Smirnova. Increasing the technology of waterproofing from bentonite mortars for construction, reconstruction and overall repair of a building // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Volume 1030 (2021) art. No 012017. IOP Publishing DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1030/1/012017>
10. Petrosal R., Mailyan A. Determination of the optimal option for production of the convex most function // E3S Web of Conferences Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering. Article Number: 09039. Number of page(s) 7 Section Environmental and Resource Economics Volume 164 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016409039>

ОБСЛЕДОВАНИЕ КРОВЛИ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ.

Д.А. Таскина¹, А.И. Фахрутдинов², В.И. Римшин³

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

³Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН),

¹darja.taskina@yandex.ru

²faxrutdinov03@mail.ru

³V.Rimshin@mgsu.ru

Аннотация

Объектом исследования является 5-этажный многоквартирный дом 1957 года постройки, включенный в программу капитального ремонта. Для выполнения программы капитального ремонта, который проводится в Москве, авторы рассматривают различные варианты кровли, чтобы выбрать наиболее оптимальный вариант.

Авторами изучена проектная документация, из которой следует, что существующее кровельное покрытие нуждается в замене. Произведен анализ характеристик следующих материалов: оцинкованная сталь, металлочерепица Агнета (Agneta), композитная черепица Luxard, гибкая черепица ТЕХНОНИКОЛЬ SHINGLAS.

В здании требуется заменить обрешетку и кровельное покрытие.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в нашей стране получила значительное развитие программа капитального ремонта многоквартирных жилых домов. В данном научном исследовании представлен анализ проектной документации 5-ти этажного односекционного жилого дома. На основании рекомендаций, указанных в проектной документации, проводится анализ характеристик материалов с целью поиска наиболее выгодного варианта. Следует иметь в виду, что при проведении капитального ремонта в здании требуется процедура обследования несущих конструкций на предмет их конструктивной надежности и технической безопасности. Для оценки пространственного положения строительных конструкций и оценки соответствия существующих конструкций требованиям норм учитывались.

При обследовании использовались визуальные и визуально-инструментальные методы. Визуально выявлены видимые дефекты строительных конструкций: разрушение защитного слоя бетона, трещины, смещение несущих элементов относительно проектного положения. Визуально-инструментальными методами уточнены геометрические размеры строительных конструкций и отдельных элементов, определены прогибы, ширина раскрытия трещин, а также прочностные характеристики строительных конструкций.

Вопросы конструктивной надежности несущих конструкций, а также исследования тепловых характеристик ограждающих конструкций, а также чердачных конструкций в нашей стране представлены в [1-7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Крыша многоскатная, вальмовая по деревянным стропилам, покрытая оцинкованной кровельной сталью с холодным чердачным ходом и наружным организованным водостоком из оцинкованных труб диаметром 160мм. Стропильная система – наслонная выполнена из деревянных элементов. Стропила – две спаренные доски (50x200 мм с шагом 1200 мм) опираются на мауэрлат (200x200 мм) и подкосы – две спаренные доски (40x110), также устанавливается подтягивающая доска (40x150) для компенсации нагрузки на распор. Нагрузки от кровли передаются через наружные стены из крупных керамзитобетонных блоков и кирпичные колонны высотой 800 мм, сечением (510x510

мм), опирающиеся на чердачное перекрытие из сборных железобетонных многопустотных плит. Обрешетка изготовлена из доски сечением 50x50 мм (шаг 250 мм).

В результате обследования установлено нарушение примыканий к вертикальным конструкциям, следы протечек с кровли, а также деформации, дыры, нестыковки швов, коррозионные повреждения листов кровельной оцинкованной стали. Выявлено повреждение обрешетки под воздействием гниения ввиду длительного срока службы, механическими причинами, протечками из-за атмосферных осадков. Зафиксированы деформации пристенного металлического желоба в местах расположения воронок водостоков, в том числе - некачественная муфта с воронками водостоков, коррозия водосточных труб, некачественные соединения водосточных звеньев. Рекомендуется заменить кровлю и обрешетку.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Давайте проанализируем характеристики существующего кровельного материала с другими, чтобы определить наиболее подходящий вариант.

На данный момент кровельное покрытие здания выполнено из оцинкованной стали (рис. 1). Оцинкованная сталь традиционного типа используется все реже. К достоинствам этого материала можно отнести высокую герметичность и грамотную систему ливневой канализации, в которой нет необходимости в горизонтальных элементах ливневого стока.

Большой минус – трудоемкость устройства с соблюдением всех правил, приходится резать листы и загигать фальц на стройплощадке. Также для обеспечения требуемого срока службы в 40 лет необходимо через год очищать металл через 4-6 лет службы и покрывать его масляной краской. Срок службы такой кровли 25 лет, при правильном уходе срок службы может быть и больше. При несоблюдении правил устройства кровли и поддерживающих устройств крыша выходит из строя. Утечки негативно сказываются на деревянных элементах кровли (рис. 2), что приводит к удорожанию последующего ремонта.



Рис. 1. Общие виды кровли



Рис. 2. Повреждение гнилью обрешетки кровли

Рассмотрим другие варианты кровельного покрытия.

Металлочерепица Агнета (Agneta) изготовлена из тонкого профилированного оцинкованного стального листа, покрытого защитно-декоративным покрытием. Используется металл толщиной 0,5 мм. К достоинствам можно отнести небольшой вес -5 кг, простоту устройства, минимальные требования к подготовке основания (наличие обрешетки), большой выбор доборных элементов и ливневых систем в цвет кровли. Также этот материал обладает большой прочностью, негорюч, срок службы 40 лет.

К недостаткам металлочерепицы можно отнести шум от дождя и высокую конденсацию.

Цена за лист 1990*1100 мм обойдется в 1040 рублей за штуку.

Композитная черепица Luxard – представляет собой материал на основе стального листа толщиной 0,45 мм, покрытого с двух сторон слоями алюмоцинка, защитного покрытия и нанесенного на лицевую сторону покрытия, состоящего из акриловой грунтовки, гранул натурального камня и устойчивого к ультрафиолетовому излучению защитного акрилового лака. К достоинствам можно отнести небольшой вес — 3,5 кг, простоту монтажа, удобные размеры элементов, устойчивость к влажности, перепадам температур, ветровым и снеговым нагрузкам. В отличие от обычного металлокомпозиата не шумит во время дождя. Срок службы 50 лет.

К недостаткам этого материала можно отнести низкую паропроницаемость, что скажется на микроклимате в помещениях. Решить эту проблему можно правильным монтажом покрытия и обустройством вентиляционной системы. Цена панели 1330*430 мм обойдется в 1996 рублей за штуку

Гибкая черепица ТЕХНОНИКОЛЬ SHINGLAS – битумный материал на основе стекловолокна. Модифицированный битум не подвержен гниению и надежно защищен от атмосферных и погодных воздействий, а также армирует битумную массу очень прочным стекловолокном.

К недостаткам этого материала можно отнести склонность к потере гибкости при минусовых температурах. Вес 6,4 кг, что дает большую нагрузку с крыши. Также срок службы ниже, чем у вышеперечисленных материалов, 20 лет.

Цена за 1 м² 210 рублей.

На основании выше написанного составим таблицу 1

Таблица 1. Основные характеристики кровельных материалов

	Устройство	Вес	Срок службы	Цена за 1 м ²
Оцинкованная сталь	Сложное	7,95 кг	25 лет	≈333 руб
Металлочерепица Агнета (Agneta)	Простое	5 кг	40 лет	≈475 руб
Композитная черепица Luxard	Простое	3,5 кг	50 лет	≈3490 руб
Гибкая черепица ТЕХНОНИКОЛЬ SHINGLAS	Простое	6,4 кг	20 лет	210 руб

ВЫВОДЫ

Можно сделать вывод, что для рассматриваемого 5-этажного жилого дома 1957 года постройки при капитальном ремонте по замене кровельного материала оцинкованная сталь будет заменена на металлочерепицу «Агнет» («Агнет»). Этот материал долговечен (40 лет), но при этом относительно недорог (475 руб.), также имеет небольшой вес среди кровельных материалов (5 кг) и прост в монтаже.

ЛИТЕРАТУРА

1. Римшин В.И., Кецо Е.С., Трунтов П.С. Большой строительный словарь Том 1 А-О Москва, 2022.
2. Римшин В.И., Кецо Е.С., Трунтов П.С. Большой строительный словарь Москва, 2022. Том 2 П-Я
3. Римшин В.И. Достижения науки - в практику строительства .Бетон и железобетон. 1995. № 6. С. 30-31.
4. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Строительная наука -направления развития. Строительные материалы. 1998. № 4. С. 2.
5. Бондаренко В.М., Прохоров В.Н., Римшин В.И. Проблемы устойчивости железобетонных конструкций. БСТ: Бюллетень строительной техники. 1998. № 5. С. 13. 4. Римшин В.И. О некоторых вопросах несущей способности строительных конструкций, усиленных наращиванием. Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 1998. № 2. С. 329
6. Теличенко В.И., Римшин В.И. Критические технологии в строительстве. Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 1998. № 4. С. 16-18.
7. Бондаренко В.М., Курзанов А.М., Римшин В.И. Механизм сейсмических разрушений зданий. Вестник Российской академии наук. 2000. № 11. С. 1005.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, СТОЯЩИХ ПЕРЕД СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛЬЮ

С. Аббасипаям¹, М.А. Гордеев-Бургвиц²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹*mechsmart@yahoo.com*

²*dr.gordeev@mail.ru*

Аннотация

Строительство не всегда было самой технологически продвинутой отраслью, но последние годы показали, что технологии приносят пользу почти во всех его аспектах. В настоящее время строительная отрасль борется с препятствиями, снижающими производительность, рисками подрыва безопасности на стройплощадке, недостаточными усилиями по обеспечению устойчивости и отсутствием интереса со стороны молодого поколения.

Спрос на новые дома растет, что приводит к самому высокому уровню жилищного строительства почти за пять десятилетий.

Такие технологии, как Интернет вещей, машинное обучение и искусственный интеллект, могут изменить правила игры в строительном секторе, поскольку они устраняют наиболее распространенные болевые точки.

Технология как инструмент играет очень важную роль в скорости и качестве визуализации решения. От обучения технике безопасности и предотвращения несчастных случаев до помощи в строительстве с дополненной реальностью — технологии действительно нужны как на чертежном столе, так и на строительной площадке. В данной статье, наряду с общим обзором литературы и существующих взглядов на применение новых технологий в строительной отрасли, использован набор мнений экспертов, подготовленных на основе документации. Также представлено, как решить проблему и предоставить решение с точки зрения технологии для строительной отрасли.

ВВЕДЕНИЕ

Спрос на строительство продолжает расти во всем мире, и прогнозируется рост на 5,7% в 2021 году.

По данным [1], спрос на новые дома растет, что приводит к самому высокому уровню жилищного строительства почти за пять десятилетий.

Чтобы удовлетворить постоянно растущие потребности, строительство должно было найти новые пути развития, чтобы стать более эффективным, чем когда-либо.

Но на фоне этого бума строительные компании сталкиваются с новыми проблемами, такими как проблемы с цепочками поставок и нехватка рабочей силы. Новые технологии предоставили строительной отрасли инновационные способы выполнения работы. Разработка новых материалов проложила путь к более прочным и энергоэффективным конструкциям.

Новые методы создания мер безопасности помогают обеспечить безопасность работников сейчас, как никогда прежде. На протяжении десятилетий технологии способствовали развитию строительства на благо всей отрасли и общества.

В то время как технологии продолжают стимулировать рост практически во всех отраслях, строительная отрасль отстает в их внедрении. Фактически, исследование [2], показало, что несмотря на то, что производительность во всех отраслях выросла на 25% за последние 25 лет, производительность в строительной отрасли выросла только на 5% за тот же период времени.

70% строительных компаний, не внедривших цифровые технологии, обанкротятся. Тем не менее, 46% строительных компаний либо еще не начали цифровую

трансформацию, либо находятся на самом раннем этапе этого процесса. даже если компании не готовы внедрять передовые новые технологии в свою повседневную деятельность, пришло время обратить внимание на автоматизированные процессы и внедрить технологии, которые помогут им разгрузить важные, но трудоемкие задачи. Стратегическое использование технологий может помочь оптимизировать процессы, сократить расходы и высвободить время сотрудников [3].

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Технологии помогли строительной отрасли добиться значительного прогресса. С созданием подключенных инструментов и оборудования, автономного тяжелого оборудования, 3D-симуляций и многого другого строительство со временем стало только лучше. По данным Института строительной индустрии, термин «технология строительства» привлекает внимание к набору инновационных инструментов, машин, модификаций, программного обеспечения и многого другого, применяемых в процессе строительства, что позволяет добиться прогресса в этой области [4]. Применение технологий в строительстве открывает возможности для повышения производительности в отрасли. Согласно исследованиям, производительность в строительной отрасли может увеличиться на 30-45% за счет внедрения проверенных технологий, а также предсказуемости и надежности. Не только это, но и другие области, требующие тщательного контроля, такие как стоимость, планирование и безопасность, также значительно улучшены. Влияние новых технологий на строительную отрасль было положительным во многих аспектах. Когда требования к строительству увеличиваются без увеличения производительности, возникают проблемы с задержками. Вот почему новые технологии так важны для строительной отрасли. Быстрое повышение производительности часто считается сложной задачей из-за невозможности сделать строительные процессы универсальным стандартом. Каждый проект уникален, и каждый сайт вакансий уникален. Благодаря технологическим достижениям в строительстве методы ведения дел стали проще и эффективнее, что ускоряет планирование и завершение строительства.

СБОРНОЕ И ВНЕШНЕЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

За прошедшие годы спрос на строительство обеспечил потребность в строительстве максимально быстро и эффективно. Новые методы, такие как сборные конструкции и строительство за пределами площадки, помогают продвигать процесс, создавая основные компоненты строительных проектов за пределами площадки, чтобы они были готовы к работе, когда они потребуются на стройплощадке. Выездное строительство выполняется либо модульно, либо сборно-разборным. Модульная конструкция позволяет строить целые комнаты со всей необходимой сантехникой. Это обычно используется при строительстве больших жилых комплексов или отелей. Методы сборного строительства за пределами площадки включают в себя такие важные детали, как каркас, внутренние и внешние стеновые панели, а также дверные и оконные сборки. Их построили за пределами площадки, а затем перевезли на площадку, правильно разместили и закрепили на участках, для которых они были созданы [5].

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Использование систем искусственного интеллекта и машинного обучения становится все более заметным в строительной отрасли. Производительность сайтов, на которых реализованы эти технологии, значительно повышается, поскольку они могут выполнять определенные задачи, которые обычно требуют участия человека. Это позволяет работникам продолжать заниматься другими, более неотложными делами на рабочем месте.

Одной из самых экономящих время задач, которую могут выполнять эти технологии, является отслеживание количества времени, затрачиваемого на перемещение по сайту. Когда рабочие выполняют свою работу, ИИ может отслеживать такие действия, как извлечение инструментов, материалов и другого оборудования. Затем вы можете проанализировать эти данные, чтобы определить более эффективные способы организации инструментов и расходных материалов, чтобы сократить время, затрачиваемое на такие действия в течение дня.

Кроме того, ИИ также может помочь отслеживать прогресс на рабочих местах. Использование камер для записи каждого этапа проекта, а затем их сравнение с ключевыми компонентами, такими как модели BIM, 3D-чертежи и графики строительства, позволяет легко увидеть, какой прогресс достигается ежедневно. Они могут не только отслеживать производительность, но и технологии искусственного интеллекта также могут быстро выявлять любые структурные проблемы, которые вы могли уже сделать или создать в будущем [2-3].

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЯ (BIM)

Основным препятствием, усложняющим конструкцию, является отслеживание изменений в моделях и отпечатках. Развитие BIM — один из самых отличных способов для строительной отрасли управлять любыми изменениями. BIM предполагает использование 3D-моделей, что позволяет улучшить проектирование и планирование строительства. Любые изменения, которые необходимо внести в планы проектирования, можно вносить и просматривать в режиме реального времени с помощью технологии BIM, которая обеспечивает визуальное представление конструкции.

Графики также могут быть смоделированы, чтобы получить почти точные оценки времени выполнения, даже с изменениями.

BIM также не ограничивается активными строительными проектами. После того, как конструкция завершена, BIM также может предоставить информацию для графиков технического обслуживания, чтобы поддерживать структуру в соответствии с нормами и в лучшем виде в любое время, не допуская чрезмерного увеличения затрат, если вам в конечном итоге потребуется ремонт. Это также может помочь сократить количество проб и ошибок в реальной жизни и позволить работникам выполнить работу правильно с первого раза в проекте, потенциально сэкономив много средств [6].

УПРАВЛЕНИЕ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ РАБОЧИХ

Строительная отрасль пережила много трудных времен, связанных с наличием достаточного количества рабочих для удовлетворения потребностей проектов, которые необходимо завершить. От лишений до выхода на пенсию отрасль постоянно сталкивается с проблемой потери работников. Поскольку спрос на строительство продолжает расти, отрасль сталкивается с тем, как справиться с нехваткой рабочей силы. К счастью, технологии достаточно продвинулись, чтобы помочь в таких ситуациях.

- **Роботы и дроны**

Робототехника была разработана для выполнения монотонных и трудоемких задач, таких как укладка кирпичей и вязка арматуры. Мало того, что эти роботы могут выполнять эти задачи гораздо быстрее, они также не устают физически, как люди, работающие на такой работе. Робототехника дает дополнительные преимущества строительной отрасли, добавляя дополнительную помощь и сокращая время, необходимое для определенных работ.

Дроны также применяются в строительной отрасли. Для чрезвычайно опасных работ, таких как осмотр мостов и зданий ошеломляющей высоты, дроны обеспечивают близкий обзор с высоты птичьего полета, в то время как рабочие могут безопасно оставаться на земле. В то время как беспилотные летательные аппараты имеют нишевое

применение, информация, которую они могут собирать и передавать работникам строительной отрасли, поступает с расширенной и более безопасной точки зрения [7].

- **Автономная работа тяжелого оборудования**

Хотя работники-люди могут заменить не все рабочие места, некоторые из них можно передать самодействующему тяжелому оборудованию. Работа автономного оборудования работает по тому же принципу, что и технология, используемая для беспилотных автомобилей. Это нововведение в строительной отрасли позволяет работникам сосредоточиться на других аспектах проектов и пригодится в случае нехватки рабочей силы.

Используя комбинацию датчиков, дронов, GPS и 3D-моделей, автономное тяжелое оборудование безопасно движется по запрограммированному пути. Эти системы могут выполнять раскопки и планировку на рабочих площадках, экономя при этом время и деньги.

УПРАВЛЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЕМ

Мониторинг местоположения и состояния оборудования имеет важное значение в процессе строительства. Несмотря на его важность, многие компании по-прежнему полагаются на электронные таблицы или даже на ручку и бумагу для ручного отслеживания перемещений оборудования. Этот процесс занимает много времени и, учитывая сложность современных строительных инструментов, неизбежно вносит ошибки в журналы перемещений.

Благодаря цифровизации строительная отрасль может автоматизировать управление оборудованием с помощью маркировки, анализа данных и профилактического обслуживания.

- **Профилактическое обслуживание**

Датчики, установленные в экскаваторах, бульдозерах, башенных кранах и другой строительной технике, могут отслеживать различные параметры, такие как температура тормозов, расход топлива, влажность и т. д., и сообщать о любом ухудшении состояния транспортных средств до того, как оно ухудшится. Обнаружение проблем с производительностью до того, как оборудование действительно сломается, имеет решающее значение для производительности, поскольку это позволяет строительным фирмам устранять неисправную часть, не приостанавливая проект [8].

Прогностическое обслуживание снижает затраты на ремонт на 5–10 %, а объем работ по планированию технического обслуживания сокращается на 20–50 %.

- **Улучшенное использование машины**

Телематические данные, собранные с датчиков, можно анализировать, чтобы получить информацию об использовании оборудования, например, когда оборудование необходимо охладить. Это особенно полезно для принятия бизнес-решений в сочетании с другими бизнес-данными, такими как амортизация машин, гарантия, инвентаризация запасных частей и т. д. Агрегирование данных телематики и логистики также помогает выявлять водителей, которые особенно требовательны к своей технике.

- **Отслеживание инструментов с помощью датчиков**

Прикрепление меток RFID (радиочастотная идентификация) к меньшему оборудованию помогает легко найти его на строительной площадке, особенно потому, что небольшие инструменты обычно пропадают. Автоматизированное отслеживание активов больше не является роскошью в строительной отрасли. Как сообщается в Индексе коммерческого строительства, маркировка оборудования была одной из наиболее часто используемых технологий в строительстве после дронов. Ожидается, что к 2022 году его использование почти удвоится.

ЗЕЛЕНОЕ ЗДАНИЕ

Зеленое строительство — еще одна попытка использовать технологии для минимизации углеродного следа. Это подразумевает не только использование экологически чистых материалов для строительства, но и минимизацию выбросов углерода зданием после того, как оно заселено. Система Интернета вещей, встроенная в здание и его инфраструктуру, помогает автоматически отключать системы, которые не используются, что позволяет зданию функционировать с оптимальным уровнем энергопотребления.

ОБСУЖДЕНИЕ: Ограничения в использовании техники

Несмотря на внедрение новых технологий в строительной отрасли, существуют некоторые проблемы и мотивы для внедрения этих технологий, которые отличаются от одних подрядчиков к другим.

Очень часто в строительной отрасли технологии рассматриваются не как решение возникающих проблем, а в некоторых случаях скорее как бремя. Таким образом, проблемы всегда сохраняются, а процессы продолжаются менее эффективно. Кроме того, отсутствие понимания создает ограничения в использовании технологий. Крайне важно понимать преимущества технологий, используемых в строительстве, с точки зрения решения проблем, потому что, наоборот, инвестиции в цифровые инструменты для облегчения строительного бизнеса окажутся бессмысленными. Внедрение цифровых методов строительства может иногда вызывать разочарование, особенно когда нет четкого понимания того, почему и как эти методы следует использовать. В результате, обосновав инвестиции в новые цифровые инструменты, также важно сосредоточиться на приобретении технологий, решающих конкретные проблемы, выявленные на месте.

ВЫВОДЫ

Применение технологий в строительстве открывает возможности для повышения производительности в отрасли. В последние годы в различных отраслях промышленности наблюдается значительный всплеск инноваций, открывающий множество возможностей для повышения эксплуатационной гибкости, эффективности и безопасности. Тем не менее, строительная отрасль вяло внедряет технологические достижения по сравнению с другими отраслями. Как сообщается в исследованиях, новые технологии, безусловно, могут решить некоторые проблемы, присущие традиционным методам управления строительством.

Благодаря технологическим достижениям в строительстве методы ведения дел стали проще и эффективнее, что ускоряет планирование и завершение строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kamaruddin, S. S., Mohammad, M. F., & Mahbub, R. (2016). Barriers and impact of mechanisation and automation in construction to achieve better quality products // Procedia-Social and Behavioral Sciences, 222, 111–120.*
2. *Bademosi, F., & Issa, R. R. A. (2021). Factors influencing adoption and integration of construction robotics and automation technology in the US // Journal of Construction Engineering and Management, 147(8), 04021075.*
3. *Goyal, P., Sahoo, A. K., & Sharma, T. K. (2019). Internet of things: Architecture and enabling technologies // Materials Today: Proceedings, 34(3), 719–735.*
4. *Gou, Q., Yan, L., Liu, Y., & Li, Y. (2013). Construction and strategies in IoT security system // In 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (pp. 1129–1132). IEEE, Beijing, China.*
5. *Hämäläinen, P., Takala, J., & Saarela, K. L. (2006). Global estimates of occupational accidents // Safety Science, 44(2), 137–156.*
6. *Kang, L., & Wu, C. (2020). Evaluating the safety performance of China's provincial construction industries from 2009 to 2017 // Journal of Civil Engineering and Management, 26(5), 435–446.*

7. *Liu, H., Skibniewski, M. J., & Wang, M.* (2016). Identification and hierarchical structure of critical success factors for innovation in construction projects: Chinese perspective // *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(3), 401–416.
8. *Okpala, I., Nnaji, C., & Awolusi, I.* (2019). Emerging construction technologies: State of standard and regulation implementation // In *ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2019* (pp. 153–161). ASCE, Atlanta, Georgia.